

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Ректор НУХТ,**  
**професор \_\_\_\_\_ А.І.Українець**  
**(підпис)**  
**« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.**

**О.О. СЕРЬОГІН**  
**О.О. ОСЬМАК**  
**Д.В. РИНДЮК**

**РЕСУРСООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ У  
ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Всі цитати, цифровий та фактичний матеріал, бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам

Підпис(и) автора(ів) \_\_\_\_\_ О.О. Серьогін  
\_\_\_\_\_ О. О. Осмак  
\_\_\_\_\_ Д.В. Риндюк  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Реєстраційний номер електронного  
підручника у НМУ  
30.18–13.06.2018

**Київ НУХТ 2018**

*Рецензенти:*

**В.Б. Кисельов**, д-р техн. наук, проф., декан факультету управління міським господарством Академії муніципального управління

**Ю.Г. Сухенко**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК

**В.Г. Мирончук**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

**Серьогін О.О.** Ресурсоощадні технології у харчовій промисловості [Електронний ресурс]: підручник. О.О. Серьогін, О.О. Осьмак, Д.В. Риндюк. – К.: НУХТ, 2018. – 414 с.

Викладено теоретичні основи використання вторинної сировини та відходів галузей харчової промисловості в ролі основної сировини для ресурсозберігаючих інноваційних технологій.

Наведено приклади реальних ресурсозберігаючих технологій на підприємствах харчової промисловості та в умовах агропромислових комплексів. Охарактеризована їхня роль в аспекті загальнодержавної політики екологізації, енергетичної незалежності та економічного розвитку.

Даний підручник призначений для студентів вищих навчальних закладів, інженерних працівників, що займаються вивченням харчопереробної промисловості та дослідженням ресурсозберігаючих технологій.

**О.О. Серьогін**, д-р техн. наук  
**О.О. Осьмак**, старший викладач  
**Д.В. Риндюк**, к-т техн. наук

Подається в авторській редакції

© О.О. Серьогін, 2018  
© О.О. Осьмак, 2018  
© Д.В. Риндюк, 2018  
© НУХТ, 2018

## Вступ

Розвиток науково-технічного прогресу, зростання населення Землі та покращення його добробуту призвели до різкого збільшення світових обсягів ресурсоспоживання. Значимість та гострота цієї проблеми зростає з кожним роком. Тому в умовах ринкової економіки необхідно організовувати виробництво на основі принципів ресурсозбереження, що в свою чергу підвищить ефективність галузей харчової промисловості в цілому.

Експертами-аналітиками встановлено, що результативного та повноцінного використання ресурсів у XXI столітті можна досягти шляхом оцінювання всього технологічного ланцюга з позиції ресурсозбереження, що включає як процеси підготовки і переробки сировини так і технологічні процеси.

Комплексний аналіз процесів інтенсифікації, ресурсозбереження, інновації та модернізації показує, що для їх втілення у реальні виробничі умови харчових підприємств необхідно створити певні передумови, які в більшості направлені на організацію ефективного управління якістю готових продуктів та 100 %-го використання ресурсного потенціалу.

Сьогодні практично в кожній промислово розвиненій країні виробники та наукові організації проводять пошуково-експериментальні роботи щодо створення найбільш оптимальних варіантів безвідходного виробництва продуктів харчування з точки зору екологічності, фінансової ефективності, низьких виробничих витрат на сировинні ресурси.

В Україні через технічно застаріле обладнання і низьку забезпеченість сучасною технікою на полях щороку залишається до 14% вирощеного врожаю, ще 11% втрачається через недосконалість техніки. Загальні втрати врожаю становлять до 25%. Такий високий рівень втрат сировинного потенціалу негативно позначається на конкурентоспроможності вітчизняних виробників продуктів усіх галузей харчової промисловості, стану розвитку агропромислового комплексу країни та економіки в цілому.

Практика і світовий досвід показали, що технологічний фактор високопродуктивного, ресурсозберігаючого виробництва у харчовій промисловості – найбільш ефективний ресурс зростання економіки країни, фактор покращення екології, шлях до енергонезалежності.

Тому ресурсозбереження, комплексне і повноцінне використання сировинного потенціалу, переробка вторинної сировини та відходів виробничого циклу – це запорука для успішного розвитку України в недалекому майбутньому.

## РОЗДІЛ 1

### РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

#### 1.1. Поняття «ресурсозбереження» в інноваційних технологіях харчової промисловості

Значення і роль ресурсів у процесі виробництва продуктів харчування якнайповніше розкривається в рамках ресурсної теорії. Однак дослідження економічної сутності ресурсозбереження повинно розглядатися з урахуванням ширшого спектру понять, до яких слід віднести «ресурси», «ресурсний потенціал». Тісний зв'язок між ними не скасовує їх принципової відмінності, яка полягає в тому, що ресурси можуть існувати незалежно від суб'єктів господарювання, а потенціал окремого підприємства є невідокремленим від нього, як від суб'єкта діяльності. Тобто «потенціал», окрім різного роду ресурсів, включає також здібності та можливості підприємства, його персоналу, до ефективного використання наявних ресурсів.

Серед сучасних інституцій, що присвятили себе аналізу проблем ресурсозбереження в харчовій промисловості, значне місце займає Римський клуб – неформальна міжнародна організація, що об'єднує вчених різних спеціальностей. У доповіді Римського клубу «Фактор чотири. Подвоєння багатства, двократна економія ресурсів» саме ресурсозбереження визнано методом вирішення соціально-економічних та соціальних проблем».

У монографії О. Оксанича розглядаються теоретичні проблеми ресурсозбереження як форми інтенсифікації виробництва. Деякі науковці обмежено пов'язують ресурсозбереження із забезпеченням оптимізації лише рівня матеріало- та енергомісткості суспільного виробництва, а ресурсозабезпечення, на їх думку, слід розуміти як процес забезпечення зростання обсягів готової продукції за відносною стабільності матеріальних та енергетичних витрат. Українські дослідники Ю. Лебединський, Ю. Склянкін, П. Попов відзначають, що суть ресурсозбереження полягає в зниженні витрат ресурсів на виробництво продукції. Фактично вони ототожнюють ресурсозбереження із заощадженням, зберіганням, невикористанням ресурсів у процесі виробництва.

Існуючі трактування сутності ресурсозбереження мають певну обмеженість тому, що віддають перевагу тому чи іншому його аспекту, не розглядаючи при цьому ресурсозбереження як складну, комплексну економічну категорію.

Еволюція трактування терміна «ресурсозбереження» зазнала значних трансформаційних змін з моменту його введення до наукової термінології. Стосовно підприємства дослідження цієї категорії мають фрагментарний характер як в теоретичному, так і в практичному аспектах, що вимагає узагальнення наукових підходів до економічної сутності ресурсозбереження з метою розширення класифікаційних ознак і визначення взаємозв'язку між

ресурсами, ресурсним потенціалом підприємства та ресурсозбереженням в контексті досягнення економіко-екологічних ефектів господарської діяльності.

Результати узагальнення теоретичних підходів до трактування категорії «ресурсний потенціал» свідчать про неоднозначність думок щодо її сутнісних характеристик. Так, ряд дослідників розглядають ресурсний потенціал підприємства з погляду його кількісних показників, як сукупність різних ресурсів, без урахування їх якісних характеристик. Відповідно до іншого підходу, ресурсний потенціал служить матеріальною основою виробництва і визначається тими ресурсами, що є у підприємства на даний момент часу, до використання їх у виробничому процесі.

У роботах більшості науковців ресурсний потенціал представлений всіма ресурсами, що використовуються у виробництві на певній стадії технологічного процесу. Визначаючи дану специфічну характеристику як основоположну, слід також враховувати і наявність якісних економічних характеристик ресурсного потенціалу. Перш за все, це його цільова і стратегічна спрямованість, що визначається можливим синергетичним ефектом від комплексного взаємозв'язаного використання різних видів ресурсів і потенційними можливостями підприємства.

Із зазначеного вище можна виділити два основні підходи до трактування категорії «потенціал». Відповідно до першого потенціал детермінується сукупністю ресурсів, коштів, запасів, тобто об'єктивними параметрами господарської діяльності. Другий підхід пов'язує потенціал з існуючими можливостями, здібностями продуктивних сил.

Але не варто розрізняти ці підходи. Слід ідентифікувати поняття «ресурсний потенціал» як сукупність ресурсів та можливостей підприємства щодо їх раціонального використання. Взаємозв'язок між категоріями «ресурси», «ресурсний потенціал» та «ресурсозбереження» представлено на рис. 1.1.

Передумовою ефективного використання ресурсного потенціалу є принципи його формування, до яких варто віднести оптимізацію складу ресурсів підприємства, їх структурно-компонентну відповідність, комплексність та взаємопов'язаність у використанні, цільову та стратегічну спрямованість. Дотримання вищезазначених принципів є підґрунтям та основною передумовою ресурсозберігаючого типу виробництва. Тобто, сукупність всіх видів ресурсів, які має в своєму розпорядженні підприємство, не визначає його можливість і здатність досягнення поставлених цілей і задач функціонування.

Маючи в своєму розпорядженні певні засоби виробництва, трудові ресурси відповідного рівня кваліфікації, фінансові ресурси, необхідну інфраструктуру та інші ресурси, підприємство не здатне забезпечувати свою ефективну діяльність без реалізації стратегії ресурсозбереження.

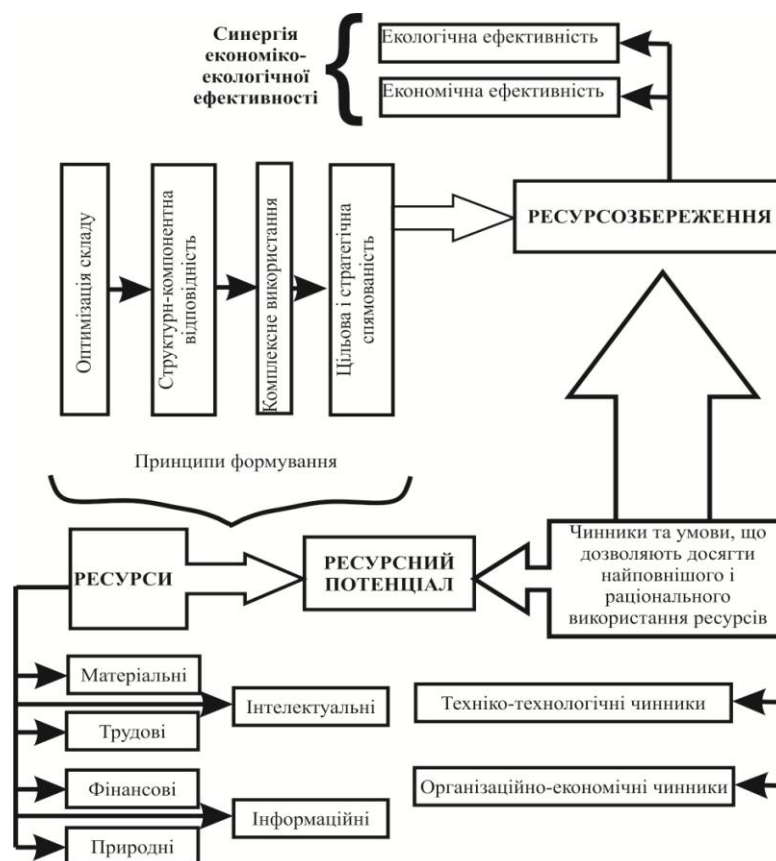


Рис. 1.1 – Схема взаємозв'язку між поняттями «ресурсний потенціал», «ресурси», «ресурсозбереження»

Узагальнення літературних джерел дозволяє виокремити дві найбільш загальні групи чинників раціонального використання ресурсів: техніко-технологічні та організаційно-економічні. Ресурсозбереження, засноване на таких принципах формування ресурсного потенціалу та чинниках раціонального використання ресурсів дозволяє отримувати не лише економічну ефективність, а й екологічну, поєднання яких створює синергетичний ефект.

Синергія економіко-екологічної ефективності проявляється не лише у зменшенні навантаження на навколишнє середовище та досягненні економічного ефекту за рахунок зниження штрафів за викиди і скиди забруднюючих речовин, а й раціонального використання ресурсів, що дозволить генерувати додаткові грошові потоки за рахунок комплексного використання сировини.

Поняття «ресурсозбереження» було введене до наукової лексики в середині 80-х років. На сьогодні варто відзначити різноплановість підходів до трактування терміна «ресурсозбереження». На даному етапі варто виділити два основні підходи до його трактування. Відповідно до першого підходу (I), ресурсозбереження являється будь-якою діяльністю, спрямованою на охорону навколишнього середовища. По суті він передбачає орієнтацію на «консервування» природних ресурсів, яка тісно пов'язана з категорією природно-ресурсного потенціалу (ПРП). Другий підхід (II) є більш широким і

стверджує, що ресурсозбереження передбачає раціональне використання усіх без винятку ресурсів, включаючи природні.

Нижче в таблиці 1.1 наведено основні трактування поняття, що відображають його сутність.

*Таблиця 1.1 – Підходи до визначення терміну «ресурсозбереження»*

№	Автор, джерело	Визначення	Підхід до трактування
1	2	3	4
1.	С. Дорогунцов, Я. Олійник, Ю. Пітюренко	Ресурсозбереження – це прогресивний напрям використання природно-ресурсного потенціалу, що забезпечує економію природних ресурсів та зростання виробництва продукції при тій самій кількості використаної сировини, палива, основних і допоміжних матеріалів. Основні стратегічні напрями ресурсозбереження можуть бути зведені до таких: комплексне використання сировинних і паливних ресурсів; впровадження ресурсозберігаючої техніки і технології; широке використання в галузях обробної промисловості вторинної сировини.	I
2.	М. Іванов, А. Бреславцев, Л. Хижняк, Д. Липницький	Ресурсозбереження являє собою метод господарювання, який охоплює комплекс технічних, економічних, організаційних заходів, спрямованих на раціональне використання ресурсів та забезпечення зростаючих потреб у них головним чином за рахунок економії.	II
3.	О. Кроллі	Ресурсозбереження – це...комплексний напрямок наукових досліджень, який складається із кола економічних, інженерно-технічних, правових та соціальних дисциплін, які постійно розширюються, з єдиною цільовою установкою.	II
4.	В. Іфтемічук, В. Григорьев, М. Маниліч, Г. Шутак	Ресурсозбереження – система заходів, спрямованих на найбільш раціональне і ефективне використання всіх видів ресурсів, їх скорочення на одиницю корисного ефекту. Ресурсозбереження є важливою умовою вирішення соціальних і виробничих проблем розвитку суспільства.	II
5.	Н. Конищева, Н. Кушнірович	Процес ресурсозбереження передбачає ефективне використання всіх видів виробничих ресурсів та грошових коштів. Крім того, зростання ресурсозбереження означає підвищення ефективності використання виробничого потенціалу на основі раціонального використання речових елементів процесу виробництва, доцільного кооперування робітників, який забезпечує зростання продуктивності праці, а також ефективність витрачання грошових коштів, які знаходяться у розпорядженні об'єктів господарювання.	II

1	2	3	4
6.	І.М. Сотник	Під ресурсозбереженням слід розуміти наукову, виробничу, організаційну, комерційну, інформаційну та іншу діяльність, спрямовану на забезпечення мінімальної витрати речовини й енергії на всіх стадіях життєвого циклу в розрахунку на одиницю кінцевого продукту, виходячи з існуючого рівня розвитку техніки і технології і з найменшим впливом на людину і природні системи.	II

Узагальнення наведених в таблиці наукових підходів свідчить про багатоаспектність проблеми ресурсозбереження, яке не можна розглядати лише як процес. Його слід розглядати також як умову, результат і показник поліпшення використання виробничих ресурсів на всіх стадіях суспільного виробництва, етапах і рівнях виробничо-господарської діяльності. Систематизація поглядів на сутність ресурсозбереження дозволила згрупувати автору найбільш характерні її ознаки (рис. 1.2).

Визначення сутності форм і видів ресурсозбереження вимагає їх детальної класифікації. За *видами ресурсів*, що зберігаються, ресурсозбереження може бути класифіковане на матеріало-, водо-, енерго-, трудо-, фондозбереження, збереження фінансових, інформаційних та інших видів ресурсів. За змістом процесів, що відбуваються, ресурсозбереження можна розглядати в двох напрямках: як економію ресурсів та як їх раціональне використання. Раціональне використання ресурсів означає досягнення максимальної ефективності використання ресурсів на підприємстві за існуючого рівня розвитку техніки та технології з одночасним зниженням впливу на навколишнє середовище. Економія ресурсів є кількісним результатом процесу раціоналізації їх використання (споживання) і з урахуванням сфер діяльності підприємства.

Відповідно до *можливостей реалізації* виділяють потенційне (ресурсозберігаючий потенціал) та фактичне ресурсозбереження. Ресурсозберігаючий потенціал підприємства може бути визначений як кількісна та якісна оцінка результатів, які може забезпечити ресурсозберігаючий проект при оптимальному поєднанні засобів, що його забезпечують. У сучасній науковій літературі зазвичай виділяють три види ресурсозберігаючого потенціалу: теоретичний, технічно можливий та економічно доцільний. Фактичне ресурсозбереження – конкретні управлінські рішення та заходи на їх підставі, що зменшують ресурсоспоживання в даному році та залежать від зусиль і зацікавленості споживачів ресурсів у здійсненні ресурсозберігаючих заходів.





Рис. 1.2 – Систематизація наукових підходів до форм прояву «ресурсозбереження»

За масштабом ресурсозбереження поділяється на глобальне, народногосподарське, регіональне, галузеве та локальне (рівень підприємства). За стадіями життєвого циклу розрізняють ресурсозбереження на стадіях видобутку і переробки вихідної сировини, виробництва, споживання, транспортування, зберігання та утилізації продукту.

За обсягами фінансування та результатами розрізняють витратне та маловитратне ресурсозбереження. До маловитратного ресурсозбереження належать ресурсозберігаючі заходи, які спрямовані на ліквідацію існуючих непродуктивних втрат ресурсів та енергії, швидко окупаються та не потребують значних фінансових вкладень. Між витратним та маловитратним ресурсозбереженням існує тісний взаємозв'язок: джерелом фінансування заходів витратного ресурсозбереження зазвичай виступають кошти, зекономлені внаслідок впровадження маловитратних ресурсозберігаючих за-

ходів, тобто маловитратне ресурсозбереження формує базу для здійснення витратного ресурсозбереження.

З огляду на існуючі в науковій літературі підходи трактування терміна «ресурсозбереження», до існуючої класифікації нами запропоновано ввести класифікаційну ознаку – за формами прояву, до якої варто віднести: ресурсозбереження як діяльність, як результат, як процес, як метод господарювання, як організаційно-економічна система, як форма інтенсифікації виробництва, як комплексний напрямок наукових досліджень.

Узагальнення підходів до змісту ресурсозбереження дозволяє зробити висновок, що більшість авторів наголошують на раціональному використанні різних видів ресурсів задля отримання економічного ефекту (результату), що полягає у зменшенні витрат виробництва і, як наслідок, підвищення прибутковості діяльності. Лише в окремих випадках наголос робиться на зменшенні навантаження на навколишнє середовище.

Тому необхідною класифікаційною ознакою є результуюча, за якою ресурсозбереження варто спрямувати на отримання економічних, екологічних і соціальних ефектів. Оскільки в сучасних умовах господарювання власники підприємств не зацікавлені у проведенні ресурсозберігаючих заходів без економічного ефекту, значне місце відводиться ресурсозбереженню, що має на меті отримання синергетичного економіко- екологічного ефекту.

Таким чином, ресурсозбереження виступає умовою забезпечення результативної та ефективної діяльності підприємства з урахуванням екологічних вимог та стандартів виробництва.

Зважаючи на вищенаведене, авторами запропоновано розглядати ресурсозбереження як метод управління підприємством, заснований на впровадженні ресурсозберігаючих технологій, прийнятті ефективних управлінських рішень стосовно ресурсозбереження, а також постійному вдосконаленні знань і професійних навичок відповідних управлінців.

Пріоритетними напрямками в проведенні активної та інноваційної ресурсозберігаючої політики на підприємствах харчової промисловості можна вважати такі:

- впровадження безвідходних або маловідходних технологій;
- удосконалення обліку цінностей на підприємстві та запровадження системи перетворення будь-якої цінності, наявної в розпорядженні підприємства, в «працюючий» ресурс, тобто той, котрий в кінцевому випадку принесе прибуток;
- регулярне проведення аналізу стану ресурсозбереження та ресурсоемності на підприємстві;
- використання вторинних ресурсів і відходів, зниження матеріаломісткості продукції;
- підвищення продуктивності праці, удосконалення кадрового менеджменту;

- здобуття енергонезалежності за рахунок виробництва альтернативних видів палива із вторинної сировини та відходів виробничого циклу;
- оптимізація управління оборотними та фінансовими ресурсами.

## 1.2. Організаційно-економічне забезпечення та мотивація процесу ресурсозбереження

Головною проблемою формування системи з впровадження процесу ефективного та раціонального використання існуючих ресурсів є недосконале розуміння об'єкту ресурсозбереження, що ускладнює процедуру впровадження цього процесу. Виникає необхідність виділення напрямків, за якими формується алгоритм визначення достатності певного виду ресурсу залежно від потреби в них та формується система ресурсозбереження. Ресурсозбереження підприємства харчової промисловості повинно сприяти створенню достатніх матеріальних ресурсів для здійснення розвитку та забезпечення матеріально-технічного постачання; інформаційне забезпечення та ресурсозбереження на рівні підприємства.

Процес управління ресурсозбереження здійснюється в одному інформаційному полі через прямий та зворотній зв'язок між суб'єктом та об'єктом управління (рис. 1.3).



Рис. 1.3 – Зв'язок суб'єкту та об'єкту управління процесом ресурсозбереження на підприємствах харчової промисловості

Головним об'єктом ресурсозбереження є процес оптимізації системи наявності і використання матеріальних ресурсів що має якісну і кількісну характеристики, соціальну і економічну спрямованість. Найсуттєвішого результату при ресурсозбереженні досягають за умови, коли процес ресурсозбереження охоплює всі стадії життєвого циклу ресурсу, на кожній з яких визначають відповідні напрями і способи ресурсозбереження.

Раціоналізація використання ресурсів є важливим, але не єдиним із завдань, які вирішує кожне підприємство харчової промисловості. Останнє в своїй діяльності орієнтується на кон'юнктуру ринку, вимоги споживачів до якості продукції, що випускається, і одночасно – на витрати із залучення і використанню інвестиційних і людських ресурсів. Уникнути субоптимізації у використанні матеріальних ресурсів – завдання менеджменту кожного промислового підприємства.

У системі ресурсозбереження використовують такі основні організаційно-економічні заходи: впровадження прогресивної ресурсоощадної техніки і технології; вдосконалення конструкції продукції; використання нових видів сировини та матеріалів; розробка нових видів ресурсів; організація технологічного використання відходів, застосування раціональних пакувальних матеріалів і конструкцій упаковки; вдосконалення технології складського зберігання і створення умов для зберігання матеріальних ресурсів; впровадження раціональних видів транспортування, скорочення відстані транспортування матеріальних ресурсів.

Система організаційно-економічного забезпечення ресурсам повинна:

- забезпечити інформацією про наявність товарно-матеріальних цінностей, що забезпечать безперебійність організації процесу виробництва,
- виявляти зайві запаси матеріальних ресурсів з метою визначення можливості їх реалізації.

Завданнями управління матеріальними витратами займаються різні підрозділи, до яких можна віднести служби матеріально-технічного постачання, головного технолога, головного енергетика, інформаційно-обчислювального центру та інші.

Отже, в умовах ринкової економіки керівництво підприємств повинно прагнути до ефективного управління матеріальними і фінансовими ресурсами, а саме управління процесами постачання і збуту, запасами і оборотними коштами, вкладеними в ці запаси.

### ***1.2.1. Аналіз складових мотивації ресурсозбереження в Україні***

На сучасному етапі ресурсозбереження перетворилося на основну ідеологію економічного розвитку провідних країн світу. Важливу роль у формуванні такої ідеології відіграла ефективна система мотивації всіх суб'єктів господарювання, населення, органів влади різних рівнів до впровадження ресурсозберігаючих заходів, яка була створена у цих державах.

Мотивація (від грец. *motif*, від лат. *moveo* – рухаю) – це зовнішнє або

внутрішнє спонукання суб'єкта господарювання до діяльності для досягнення певних цілей, наявність інтересу до такої діяльності і способи його ініціювання, спонукання. Мотивація ресурсозбереження містить декілька основних компонентів (рис. 1.4).



Рис. 1.4 – Складові елементи мотивації

Дослідження *мотивів* ресурсозбереження, тобто внутрішніх спонукальних сил, є відправним пунктом побудови системи провадження ресурсозберігаючої діяльності. Мотиви споживання поділяють на раціональні, емоційні та моральні. До раціональних слід віднести, насамперед, економічні вигоди, які полягають у можливості отримати додаткові доходи від впровадження ресурсозберігаючих заходів. Серед емоційних мотивів у сфері ресурсозбереження варто виділити почуття причетності кожного члена суспільства до виконання важливої спільної справи – підвищення ресурсоефективності економічної системи, стиль життя та можливості його зміни у кращий бік із впровадженням ресурсозбереження, почуття страху у зв'язку зі швидким вичерпуванням ресурсів без зміни характеру ресурсоспоживання тощо. Моральні мотиви можуть містити такі різновиди, як досягнення соціальної справедливості у суспільстві шляхом кращого використання ресурсів, збереження і підвищення якості довкілля та ін.

З точки зору розроблення ефективних систем мотивації ресурсозбереження на початкових етапах впровадження ресурсозберігаючих заходів доцільним є переважне використання раціональних (економічних) мотивів. Це пов'язано з тим, що в цей період потенціал ресурсозбереження в країні є достатньо великим, а суспільство в цілому ще неповною мірою усвідомило необхідність і доцільність ресурсозберігаючої діяльності. Отже, моральні та емоційні мотиви до ресурсозбереження є слабкими, тому основним завданням мотивації є наголошення на економічних вигодах, які несе в собі реалізація ресурсозберігаючих заходів в економіці. Пізніше, коли суспільство усвідомить економічну доцільність раціонального та ефективного використання ресурсів, при проведенні політики ресурсозбереження слід більш активно задіяти моральні та емоційні мотиви, оскільки в міру

реалізації наявного ресурсозберігаючого потенціалу економічна ефективність заходів з ресурсозбереження буде знижуватися.

Стосовно України слід зазначити, що за роки незалежності в державі певною мірою вдалося сформувавши мотиви до провадження ресурсозберігаючої діяльності. Сьогодні на користь реалізації вітчизняних ресурсозберігаючих проектів свідчить той факт, що з точки зору капітальних вкладень енерго- та ресурсозберігаючі заходи у 3–4 рази ефективніші, ніж створення нових виробничих потужностей. Висока соціально-економічна та екологічна ефективність ресурсозбереження підтверджується численними результатами впровадження пілотних проектів, наприклад, у водоканалізаційному господарстві України. Одержані результати, безумовно, сприяють зміцненню раціональних мотивів ресурсозбереження. Але при цьому слід вказати на слабкий розвиток моральних та емоційних мотивів, які зараз відіграють невелику роль, хоча їх значення у міру реалізації ресурсозберігаючого потенціалу країни зростатиме.

Провідне місце у системах мотивації належить *потребам*. Згідно з найбільш поширеною теорією ієрархії потреб А. Маслоу останні поділяються на п'ять основних груп і часто зображуються у вигляді піраміди (рис. 1.5). Основу її складають первинні потреби (перша і друга групи), верхівку – вторинні (наступні три групи).

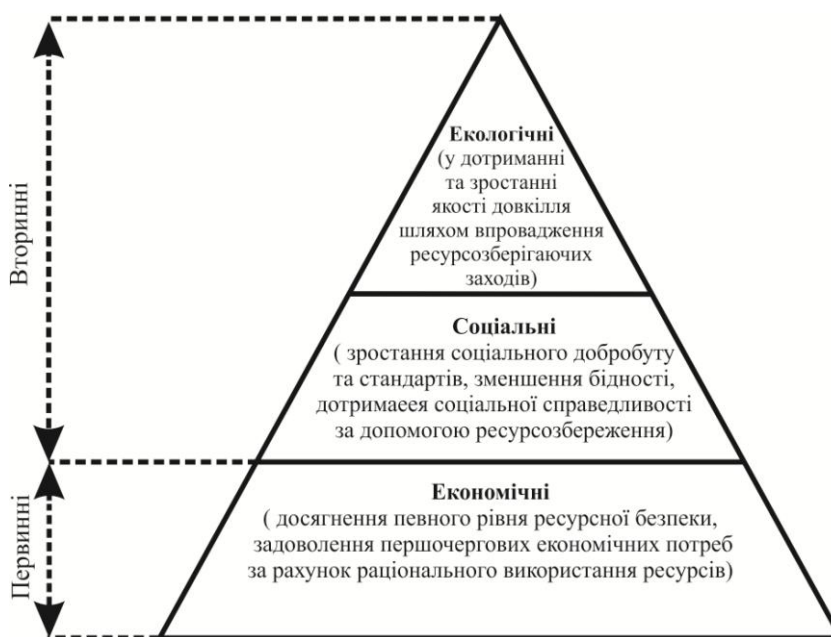


Рис. 1.5 – Ієрархія потреб у ресурсозбереженні

Враховуючи специфіку ресурсозберігаючої діяльності, на наш погляд, ієрархію потреб доцільно звести до трьох основних груп: економічні, соціальні та екологічні з можливою подальшою деталізацією у цих групах. Першу з них утворюють економічні потреби (первинні за Маслоу), які полягають у необхідності досягнення певного рівня ресурсної

безпеки, задоволення першочергових економічних потреб за рахунок раціонального використання ресурсів тощо. Другу групу складають соціальні, пов'язані з необхідністю утримання і підвищення рівня соціального добробуту, зменшення масштабів бідності, зростання соціальних стандартів, дотримання соціальної справедливості за допомогою реалізації політики ресурсозбереження. Третя група містить екологічні потреби, які активізуються після задоволення економічних та соціальних потреб. Друга і третя групи потреб у ресурсозбереженні належать до вторинних. З'ясування ступеня пріоритетності тієї чи іншої групи потреб для задоволення на поточний момент часу є важливим моментом при побудові ефективної системи мотивації ресурсозберігаючих заходів.

Практичним втіленням існуючих потреб є *інтереси*, які полягають у прагненні мати такий рівень ресурсоефективності систем виробництва і споживання, який би забезпечував гідний рівень якості життя всіх членів суспільства з урахуванням екологічної, соціальної та економічної його складових. За масштабом охоплення можна виділити загальнонаціональні (рівень держави), регіональні (регіон, територія), локальні (група підприємств, підприємство, група населення) та особисті (окремий член суспільства) інтереси у ресурсозбереженні.

Загальнонаціональні та регіональні інтереси полягають у необхідності забезпечення економічного зростання в країні (регіоні) за допомогою проведення державної (регіональної) ресурсозберігаючої політики, підвищення соціального добробуту, якості навколишнього природного середовища, зростання ресурсної безпеки держави (регіону, території) тощо. Вони виникають внаслідок економічного і законодавчого стимулювання на регіональному, державному і міжнародному рівнях, екологічної пропаганди. Зазначені інтереси відповідають прагненням суспільства в цілому, проте можуть не узгоджуватися з інтересами його окремих членів. Прикладом може слугувати ситуація протидії ресурсних монополістів рішенням уряду зі стимулювання заходів щодо скорочення ресурсоспоживання в бюджетній сфері країни. З цих позицій важливим завданням мотивації є вивчення і узгодження інтересів різних груп і членів суспільства.

Локальні інтереси охоплюють окремих суб'єктів господарювання або їх групи, групи населення, які характеризуються спорідненістю мотивів ресурсозбереження. У межах даної групи доцільно виділяти інтереси виробників і споживачів ресурсів, товарів та послуг, а також постачальників ресурсозберігаючого устаткування, товарів та послуг, оскільки ці інтереси суттєво відрізняються один від одного і, як правило, мають економічну природу. Зокрема, інтереси виробників ресурсів, товарів та послуг полягають у впровадженні заходів, які забезпечують зменшення ресурсоемності вироблюваної ними продукції, економію матеріальних та енергетичних ресурсів, скорочення витрат на управління виробництвом

тощо. Інтереси споживачів охоплюють придбання енергоощадної, екологоефективної продукції та послуг, можливість самостійного регулювання всіх без винятку ресурсів, що ними споживаються, та можливість отримання економії витрат внаслідок такого регулювання. Інтереси постачальників ресурсозберігаючого устаткування, товарів та послуг полягають у збільшенні їх доходів внаслідок реалізації ресурсозберігаючих заходів виробниками та споживачами.

Крім того, локальні інтереси можуть відрізнятися залежно від сфери економічної діяльності суб'єктів господарювання, їх належності до великого, середнього, малого бізнесу, бюджетної та небюджетної сфер й ін., що обов'язково слід враховувати при побудові систем мотивації ресурсозбереження.

В Україні протягом останніх років потреби у ресурсозбереженні збільшувалися, хоча навіть дотепер вагома їх частина є прихованою. Це, зокрема, демонструє динаміка розподілу попиту на ресурсо- та енергозберігаючі технології в Сумській області у 2000...2007 рр. Якщо позитивний попит на ресурсо- та енергозберігаючі технології у 2000 році в області склав менш ніж 25% серед опитаних потенційних покупців, то у 2007 році, за оцінками, його частка розширилася до 48%, при цьому неплатоспроможний попит становив близько 30...40%. Таким чином, зростання потреб у ресурсозбереженні у вітчизняних суб'єктів господарювання не завжди трансформується в інтереси і відповідно у повноцінний платоспроможний попит, послаблюючи мотивацію до реалізації ресурсозберігаючих заходів.

Вагомою складовою мотивації є *стимули*, які є зовнішньою спонукальною силою до досягнення цілей ресурсозберігаючої діяльності. У сфері ресурсозбереження варто виділити чотири основних групи факторів, які необхідно враховувати при стимулюванні впровадження ресурсозберігаючих заходів: ресурсозабезпечення, ресурсодоступність, ресурсоприйнятність та ресурсоефективність.

Ресурсозабезпечення полягає у дотриманні безперервності постачання необхідних ресурсів для процесів виробництва і споживання у достатніх обсягах та не нижче встановленого рівня якості при та після впровадження ресурсозберігаючих заходів. Те саме стосується і ресурсозберігаючого устаткування, товарів та послуг, які пропонуються суб'єктам господарювання для реалізації ними ресурсозберігаючих проектів. Більшість суб'єктів не схильні до активного пошуку ресурсоефективних технологій і товарів на ринку, що є основною перешкодою для здійснення ними оптимального вибору та причиною придбання і впровадження менш ресурсоефективних аналогів.

Ресурсодоступність передбачає, що впроваджувані ресурсозберігаючі заходи мають сприяти покращанню доступу суб'єкта господарювання до необхідних йому ресурсів за ціновими характеристиками та рівнем енергоощадності, тобто забезпечувати зменшення витрат на придбання



ресурсів завдяки переорієнтації на інші, більш дешеві аналоги поряд зі зменшенням загальних обсягів ресурсоспоживання, у тому числі традиційних ресурсів. Даний фактор також передбачає, що витрати на реалізацію ресурсозберігаючих проектів повинні бути посильними (доступними) для відповідних суб'єктів господарювання, а їх результати – суттєво поліпшувати як соціально-економічне становище виконавця, так і забезпечувати отримання позитивного екологічного та інших ефектів ним та суспільством в цілому.

Ресурсоприйнятність полягає у забезпеченні мінімізації негативного впливу процесів виробництва і споживання ресурсів та продукції, послуг на довкілля, соціальну сферу внаслідок реалізації ресурсозберігаючих заходів. Крім того, якщо у ході виконання заходів потрібна заміна одного використовуваного ресурсу, технології його виробництва чи споживання на інші, вона повинна бути прийнятною з точки зору технологічних і технічних можливостей, економічних, соціальних та екологічних наслідків.

Ресурсоефективність як фактор мотивації передбачає, що вибір і впровадження ресурсозберігаючих проектів повинні здійснюватися не за принципом „адміністративного примусу”, а на основі показників соціальної, економічної, екологічної ефективності проектів. При цьому необхідність реалізації подальших заходів з ресурсозбереження повинна визначатися на основі об'єктивної оцінки потенціалу підвищення ресурсоефективності з вибором оптимального з усіх можливих варіантів впровадження заходу.

Важливого значення при здійсненні мотивації набувають також методи економічного стимулювання ефективного споживання ресурсів на рівнях споживача, виробника та держави в цілому. Стосовно сфери ресурсозбереження споживачі можуть стимулювати підвищення ефективності виробництва і споживання ресурсів, поширення ресурсозберігаючих технологій та ресурсощадних товарів шляхом формування позитивного і негативного ставлення до них, „голосуванням гривнею”, тобто підвищеним попитом на одні та зниженням попиту на інші, більш ресурсовитратні види продукції. Зі свого боку, виробники спроможні суттєво вплинути на пріоритетність споживання ресурсоефективних товарів і послуг, застосовуючи відповідний комплекс засобів стимулювання: рекламу ресурсощадної продукції та її переваг, послуг з ресурсозбереження; інформування споживача про нові ресурсоефективні технології та сферу їх використання, виробників технологій та обслуговуючі організації; пропаганду ресурсозбереження; стимулювання збуту тощо. Державні органи мають змогу формувати мотивацію до провадження ресурсозберігаючої діяльності шляхом як економічного стимулювання (цінового регулювання, кредитно-фінансової підтримки ресурсозберігаючих заходів, пільгового оподаткування тощо), так і інформаційно-психологічного впливу через систему освітніх,

виховних заходів. При цьому, як відмічає О.В. Прокопенко, надзвичайно важливим є державне стимулювання виробників ресурсоефективної продукції та послуг, оскільки саме внаслідок цього у споживачів з'являється реальна можливість здійснити вибір на користь ресурсозбереження.

Слід констатувати, що сьогодні в Україні досить слабо розвинені і неефективно використовуються стимули до провадження ресурсозберігаючої діяльності. Внаслідок цього ускладнюється процес формування інтересів – зацікавленості всіх членів суспільства у ресурсозбереженні. З існуючих методів стимулювання переважно застосовуються адміністративні, частково моральні та емоційні, примусові економічні (насамперед фіскального спрямування) і майже не використовуються заохочувальні економічні, що не сприяє активному впровадженню ресурсозберігаючих заходів, особливо у таких „болючих” галузях, як житлово-комунальне господарство, бюджетна сфера, енергетичний комплекс, важка промисловість. Результати незбалансованого стимулювання знаходять своє відображення у суперечливості та нестабільності правової бази, зривах виконання державних програм економічного розвитку і ресурсозбереження, калейдоскопі змін державних структур, відповідальних за провадження ресурсозберігаючої діяльності, негативній динаміці інноваційної, інвестиційної діяльності ресурсозберігаючого спрямування та інших аспектах.

Ще одним компонентом мотивації є *ситуативні фактори*, що містять різного роду події і ситуації економічного, соціального, екологічного, політичного характеру і можуть змінювати (посилювати або зменшувати) її рівень. Зокрема, до таких факторів належить рішення країн ОПЕК про скорочення обсягів видобутку і продажу нафти та відповідна активізація ресурсозберігаючих процесів у розвинених країнах як відклик на цю подію. Наступним прикладом може слугувати аварія у системі централізованого теплопостачання м. Алчевська в опалювальний сезон, коли виникнення надзвичайної ситуації обумовило відновлення системи з урахуванням вимог ресурсозбереження та посилення тенденцій до встановлення індивідуального опалення. Ситуаційним фактором мотивації ресурсозберігаючої діяльності можуть також бути аварії на атомних електростанціях, інших енергетичних об'єктах, що супроводжуються значними обсягами забруднення довкілля: одним з перспективних шляхів запобігання їх виникненню є скорочення потреби в енергетичних потужностях внаслідок раціоналізації енергоспоживання. Для України сприятливими ситуативними факторами є постійне зростання цін на виробничі ресурси, зокрема, підвищення цін на природний газ, що постачається з Росії. Водночас нестабільність політичної, економічної ситуації в країні, часті зміни у законодавстві тощо здійснюють негативний вплив, перешкоджаючи формуванню стійкої зацікавленості у реалізації

ресурсозберігаючих заходів.

Узагальнення аналізу мотивації ресурсозбереження показує, що компоненти мотивації характеризуються значною варіативністю, потребують різних за тривалістю періодів для їх формування та застосування. Зокрема, створення психологічних стимулів до ресурсозбереження шляхом освітніх і виховних заходів вимагає тривалої багаторічної перебудови системи освіти, водночас використання реклами як економічного стимулу ресурсозберігаючої діяльності може потребувати лише кількох днів для отримання шуканого результату. Проте саме комплексне поєднання всіх компонентів мотивації зі зміною їх ролі залежно від тенденцій розвитку ресурсозберігаючих процесів у суспільстві здатне створити необхідні мотиваційні передумови для реалізації політики ресурсозбереження. Стосовно України актуальним завданням є активізація методів економічного стимулювання ресурсозбереження, насамперед, заохочувального спрямування. Однак пошук практичних механізмів реалізації цього завдання повинен узгоджуватися з державними та регіональними пріоритетами досягнення сталого економічного розвитку і переходу країни до інформаційного суспільства.

### **1.3. Економічна оцінки ефективності ресурсощадних технологій в «ресурсономічному» контексті**

В сучасних умовах господарювання для підприємств харчової промисловості України надзвичайно актуальним є завдання побудови оптимальної моделі ефективного використання ресурсів у «ресурсономічному» контексті.

Різноманітність підходів, застосовуваних різними вченими до визначення сутності ресурсозбереження, ресурсономіки та ін., багатогранність цього поняття призвели до появи багатьох трактувань зазначених термінів. Деякі з них подані в табл. 1.2.

На підставі цих визначень можна зробити висновок, що термін «ресурсозбереження» як економічна категорія здебільшого базується на ефективному використанні ресурсів підприємства. У свою чергу, ресурсономіка включає підсистеми, що вивчають організацію господарської діяльності на основі ефективного використання обмежених ресурсів і розглядає, у цьому контексті, питання організації та управління виробництвом, розподілом, обміном, збутом і споживанням товарів та послуг. Ресурсономіка як функціональний механізм забезпечує вивчення, організацію та контролювання процесів використання ресурсів на всіх стадіях розширеного відтворення.

**Таблиця 1.2 – Визначення терміна «ресурсозбереження» в ресурсономічному контексті**

№	Автор	Визначення
1.	А.І. Амоша, С.С. Аптекарь	Метод господарювання, що охоплює комплекс технічних, економічних, організаційних заходів, спрямований на раціональне використання ресурсів.
2.	Постанова КМУ від 29 лютого 1996 р. № 272	Ефективне використання усіх видів виробничих ресурсів та грошових коштів. Крім того, зростання ресурсозбереження означає підвищення ефективності використання виробничого потенціалу на основі раціонального використання речових елементів процесу виробництва, доцільного кооперування робітників, який забезпечує зростання продуктивності праці, а також ефективність витрачання грошових коштів, які знаходяться у розпорядженні об'єктів господарювання.
3.	Невелев А. М., Сіренко В. А., Габ В. І.	Перехід від економічного нарощування до інтенсивного використання. інтенсивні фактори повинні відігравати все більшу роль у забезпеченні приросту виробництва та підвищенні його ефективності, перш за все за рахунок зниження матеріалоємності, збільшення виходу кінцевої продукції з кожної вкладеної одиниці матеріальних ресурсів, скорочення втрат і повного використання відходів.
4.	Мочерний С. В.	Один із важливих напрямів підвищення ефективності виробництва. Досягається ресурсозбереження за рахунок комплексу науково-технічних, організаційних, економічних заходів, спрямованих на найбільш раціональне, економічне використання усіх видів ресурсів, енергії, за рахунок їх економного використання.
5.	Балашова Р. І.	Економічна категорія, яка постійно удосконалюється та являє собою процес підвищення ефективності використання ресурсів на підприємствах усіх типів і форм власності; виявляється у зниженні витрат живої та матеріалізованої праці на виробництво одиниці споживчої вартості продукції з урахуванням усіх видів фінансових надходжень.
6.	Вовк Ю. Я., Стойко І. І.	Ресурсономіка – новітня наука, яка включає підсистему знань, що вивчає організацію господарської діяльності на основі ефективного використання обмежених ресурсів і розглядає у цьому контексті питання організації та управління виробництва, розподілу, обміну, збуту та споживання товарів та послуг. Визначає правила ведення господарства, які базуються на сукупності науково обґрунтованих заходів щодо ощадливого, раціонального та ефективного використання не лише виробничих чинників: капіталу, землі, праці ін. задля суспільного інтересу, та забезпечується за допомогою ефективного використання ресурсозберігаючих та енергозберігаючих технологій, зниження фондомісткості та матеріаломісткості продукції, підвищення продуктивності праці, скорочення витрат живої та уречевленої праці, підвищення якості продукції, раціонального застосування працівників і маркетологів, інновацій а логістики, використання вигод міжнародного поділу праці та ін.

Економічна ефективність виробництва, в широкому розумінні, – це ступінь використання виробничого потенціалу, що виявляється у співвідношенні результатів і витрат суспільного виробництва.

Сучасна економічна думка пропонує різноманітні підходи до визначення поняття «ефективність», які формувалися на основі суспільного устрою, потреб виробництва та переважаючих тенденцій розвитку економіки, проте переважає точка зору, згідно з якою ефективність – це відношення результатів до витрат (ресурсів) на їх досягнення.

Абсолютний ефект від здійснення ресурсозберігаючої діяльності характеризує загальну або питому (у розрахунку на одиницю витрат чи ресурсів) його величину, яку підприємство отримує від своєї діяльності за певний період. Порівняльний ефект відображає результат порівняння реалізації різних заходів із ресурсозбереження та вибір найкращого з них. Визначення ефективності заходів із ресурсозбереження пов'язане, перш за все, з вибором критеріїв та формуванням відповідної системи показників.

Формуючи систему показників ефективності використання ресурсів підприємства, варто дотримуватися таких принципів:

- застосування системи показників ефективності використання ресурсів підприємства для управління ресурсозбереженням на підприємстві;
- виконання цими показниками стимулювальної функції у процесі збільшення ефективності ресурсозбереження;
- збереження взаємозв'язку системи показників ефективності використання ресурсів підприємства та ресурсозбереження.

Для оцінювання рівня використання ресурсів підприємства використовується формула визначення узагальнювального показника ефективності використання ресурсів:

$$\text{УПР} = \frac{\Pi_{\text{п}}}{З}, \quad (1.1)$$

де УПР – узагальнювальний показник ефективності використання ресурсів;

$\Pi_{\text{п}}$  – приріст прибутку від реалізації ресурсозберігаючих заходів;

$З$  – затрати, пов'язані з реалізацією ресурсозберігаючих заходів.

У практичній діяльності застосовуються інші показники, серед яких матеріалоемність, фондівдача, фондоозброєність, продуктивність праці, рентабельність продукції, прибутковість роботи підприємства.

Важковизначити, які ж саме показники доцільніше використовувати для оцінки економічної ефективності заходів з ресурсозбереження. Застосування одного або частини показників навряд чи повно показує загальну картину того, що відбувається. Деякі показники не можуть бути порівняні між собою через різні одиниці виміру, вони можуть змінюватися в різних співвідношеннях, іноді і в різних напрямках. Отже, визначені показники характеризують зміни підрозділів діяльності підприємства, але жоден з них не може відобразити взаємозв'язок усіх складових. Виникає проблема подолання непорівнянності складових частин результатів і зусиль

діяльності підприємства, яку необхідно вирішувати шляхом приведення до вартісної або трудової форми. Тому при обґрунтуванні показників ефективності діяльності підприємства необхідно одночасно враховувати всю сукупність змін умов за допомогою узагальнюючого показника, без якого неможливо комплексно та системно оцінити процес управління на підприємстві.

Для цього необхідно розробити розширену методику оцінки ефективності прийняття управлінських рішень з ресурсозбереження на підприємствах. Тому оцінка раціонального використання ресурсів повинна здійснюватися не через один найважливіший показник, а через систему показників. При цьому можуть використовуватися найрізноманітніші прийоми, методи і моделі. Найбільш популярним та поширеним є метод, що базується на системі показників, наведеній в табл. 1.3.

**Таблиця 1.3 – Показники, що характеризують ефективність використання ресурсів підприємств харчової промисловості**

Назва показника	Формула для розрахунку	Умовні позначення
1	2	3
Матеріаломісткість	$MM = \frac{M}{\Pi}$	MM – матеріаломісткість, грн; Π – вартість виготовленої продукції; M – вартість витрачених матеріалів.
Питома матеріаломісткість	$M_{\Pi} = \frac{M_1}{B}$	M <sub>Π</sub> – питома матеріаломісткість, грн; M <sub>1</sub> – витрати конкретного виду ресурсів; B – кількість одиниць виготовленої продукції.
Загальна матеріаломісткість	$M_3 = \frac{M_{3,c}}{B}$	M <sub>3</sub> – загальна матеріаломісткість, грн; M <sub>3,c</sub> – загальна сума витрат матеріальних ресурсів; B – обсяг виготовленої продукції у грошовому обчисленні, грн.
Матеріаловіддача	$M_B = \frac{\Pi}{M}$	M <sub>B</sub> – матеріаловіддача, грн; Π – вартість виготовленої продукції; M – вартість витрачених матеріалів.
Коефіцієнт розміру відходів виробництва	$M_{\text{від}} = \frac{B_d}{B_r}$	K <sub>від</sub> – коефіцієнт розміру відходів виробництва; B <sub>d</sub> – загальна величина відходів; B <sub>r</sub> – величина загальних витрат виробництва.
Питома вага матеріальних ресурсів у собівартості продукції	$D_M = \frac{M}{C_B}$	D <sub>M</sub> – питома вага матеріальних ресурсів у собівартості продукції; M – матеріальні витрати; C <sub>B</sub> – собівартість виготовленої продукції.
Коефіцієнт оборотності запасів	$M_{\text{оз}} = \frac{M}{Z_{\text{сер}}}$	K <sub>оз</sub> – коефіцієнт оборотності запасів; M – середньодобове споживання ресурсів, грн; Z <sub>сер</sub> – середній залишок запасів, грн.

1	2	3
Тривалість одного обороту матеріальних запасів	$O = \frac{D}{K_0}$	O – тривалість одного обороту матеріальних запасів; D – кількість днів в обороті; K <sub>0</sub> – коефіцієнт оборотності матеріальних запасів.
Продуктивність праці (занатуральним методом)	$\text{ПП}_n = \frac{\text{ВПН}}{\text{Ч}}$	ПП <sub>n</sub> – продуктивність праці; ВПН – випуск продукції у натуральному виразі; Ч – середньооблікова чисельність працівників, що брали участь у виробництві продукції.
Продуктивність праці (за вартісним методом)	$\text{ППВ} = \frac{\text{ВПВ}}{\text{Ч}}$	ППВ – продуктивність праці за вартісним методом; ВПВ – випуск продукції у вартісному виразі; Ч – середньооблікова кількість працівників, що брали участь у виробництві продукції.
Трудоємність продукції	$\text{ТЄ} = \frac{\text{Т}}{\text{ВП}}$	ТЄ – трудоємність продукції; Т – кількість робочого часу, витраченого на випуск продукції; ВП – випуск даного виду продукції за певний період.
Коефіцієнт динаміки ефективності використання робочої сили	$K_{\text{ком. еф}} = \sqrt{I_{\text{вар}} \cdot I_n}$	K <sub>ком. еф</sub> – коефіцієнт динаміки ефективності використання робочої сили; I <sub>вар</sub> – індекс зміни продуктивності праці у вартісному вираженні; I <sub>n</sub> – індекс зміни продуктивності праці у натуральному вираженні.
Середній розряд робітників	$K_{\text{сер}} = \frac{\sum K_i}{m}$	R <sub>сер</sub> – середній розряд робітників; K <sub>i</sub> – чисельність робітників i-го розряду; m – кількість розрядів.
Коефіцієнт плинності кадрів	$K_{\text{пк}} = \frac{K_1}{K_c}$	K <sub>пк</sub> – коефіцієнт плинності кадрів; K <sub>1</sub> – кількість працівників, що звільнилися, за звітний період; K <sub>c</sub> – середньоспискова чисельність.
Фондовіддача	$\text{ФО} = \frac{\text{ТП}}{\text{ОВФ}}$	ФО – фондovіддача, грн/грн; ТП – обсяг продукції; ОВФ – середньорічна вартість основних виробничих фондів.
Фондомісткість	$\text{ФЄ} = \frac{\text{ОВФ}}{\text{ТП}}$	ФЄ – фондомісткість продукції підприємства, грн; ОВФ – середньорічна вартість основних виробничих фондів; ТП – обсяг продукції.

1	2	3
Рентабельність ОВФ	$P_{\text{овф}} = \frac{\Pi}{\text{ОВФ}} \cdot 100$	$P_{\text{овф}}$ – рентабельність основних виробничих фондів, %, $\Pi$ – прибуток підприємства, ОВФ – середньорічна вартість основних виробничих фондів.
Фондоозброєність працівників	$\Phi_{\text{оз}} = \frac{\text{ОВФ}}{Ч}$	$\Phi_{\text{оз}}$ – фондоозброєність одного працівника; $Ч$ – чисельність працівників; ОВФ – середньорічна вартість основних виробничих фондів.
Середні витрати на ремонтні роботи і технічне обслуговування, грн	$З_{\text{сер}} = \frac{\sum Z_i}{\Pi}$	$Z_{\text{сер}}$ – середні витрати на ремонтні роботи і технічне обслуговування, грн; $Z_i$ – витрати на виробництво і-го ремонту (обслуговування), грн; $\Pi$ – кількість робіт за аналізований період.
Коефіцієнт використання виробничої потужності за видами продукції	$K_M = \frac{N_{\text{ф}}}{N}$	$K_M$ – коефіцієнт використання виробничої потужності за видами продукції; $N_{\text{ф}}$ – фактичний обсяг виробництва продукції; $N$ – виробнича потужність.
Частка простоїв в ефективному фонді часу роботи устаткування через відсутність ресурсів, %	$\Pi_M = \frac{\Delta \Phi_M}{\Phi_e} \cdot 100$	$\Pi_M$ – частка простоїв в ефективному фонді часу роботи устаткування через відсутність ресурсів; $\Delta \Phi_M$ – простої через відсутність ресурсів, дн.; $\Phi_e$ – ефективний фонд часу роботи устаткування, дн.
Частка простоїв в ефективному фонді часу через позапланові зупинки й аварійні ремонти, %	$\Pi_M = \frac{\Delta \Phi_p}{\Phi_e} \cdot 100$	$\Pi_p$ – частка простоїв в ефективному фонді часу через позапланові зупинки й аварійні ремонти; $\Delta \Phi_p$ – простої через аварійні зупинки і надпланові ремонти; $\Phi_e$ – ефективний фонд часу роботи устаткування, дн.
Коефіцієнт змінності роботи устаткування	$K_{\text{см}} = \frac{\sum T_{\text{см}}}{n_v \cdot D_{\text{роб}}}$	$K_{\text{см}}$ – коефіцієнт змінності роботи устаткування; $T_{\text{см}}$ – кількість відпрацьованих станкозмін за аналізований період; $n_v$ – число одиниць встановленого устаткування, $D_{\text{роб}}$ – число робочих днів у періоді
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	$K_{\text{ал}} = \frac{\text{ГК} + \text{КВ}}{\text{КЗ}}$	$K_{\text{ал}}$ – коефіцієнт абсолютної ліквідності; ГК – грошові кошти; КВ – короткострокові фінансові вкладення; КЗ – короткострокова заборгованість



1	2	3
Проміжний коефіцієнт покриття (ліквідності)	$K_{\text{пр}} = \frac{\Gamma_{\text{к}} + Д_3}{K_3}$	$K_{\text{пр}}$ – проміжний коефіцієнт покриття (ліквідності); $\Gamma_{\text{к}}$ – грошові кошти; $Д_3$ – дебіторська заборгованість; $K_3$ – короткострокові зобов'язання
Загальний коефіцієнт покриття	$K_{\text{заг}} = \frac{В_{\text{об.а}}}{КЗ}$	$K_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт покриття; $В_{\text{об.а}}$ – вартість оборотних активів; $КЗ$ – короткострокові зобов'язання
Коефіцієнт автономії	$K_{\text{авт}} = \frac{ВК}{ЗСМ}$	$K_{\text{авт}}$ – коефіцієнт автономії; $ВК$ – власний капітал; $ЗСМ$ – загальна сума майна підприємства
Коефіцієнт залучених коштів	$K_{\text{з.к}} = \frac{ЗК}{ЗВМ}$	$K_{\text{з.к}}$ – коефіцієнт залучених коштів; $ЗК$ – залучені кошти; $ЗВМ$ – загальна вартість майна
Коефіцієнт інвестування	$K_{\text{спів}} = \frac{ЗК}{ВК}$	$K_{\text{спів}}$ – коефіцієнт інвестування; $ЗК$ – залучені кошти; $ВК$ – власні кошти
Коефіцієнт мобільності власних коштів	$K_{\text{м}} = \frac{В_{\text{об.а}}}{ЗВК}$	$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт мобільності власних коштів; $В_{\text{об.а}}$ – власні оборотні активи; $ЗВК$ – загальна величина власних коштів
Коефіцієнт забезпеченості оборотних активів власними оборотними активами	$K_{\text{заб}} = \frac{В_{\text{об.а}}}{С_{\text{об.а}}}$	$K_{\text{заб}}$ – коефіцієнт забезпеченості оборотних активів власними оборотними активами; $В_{\text{об.а}}$ – власні оборотні активи; $С_{\text{об.а}}$ – загальна сума оборотних активів
Рентабельність продажів	$P_{\text{п}} = \frac{\text{ЧП}}{\text{ОП}}$	$P_{\text{п}}$ – рентабельність продажів; ЧП – чистий прибуток; ОП – обсяг продажів
Рентабельність власного капіталу	$P_{\text{в.к}} = \frac{\text{ЧП}}{\text{ВК}}$	$P_{\text{в.к}}$ – рентабельність власного капіталу; ЧП – чистий прибуток; ВК – власний капітал
Рентабельність оборотних активів	$P_{\text{о.к}} = \frac{\text{ЧП}}{\text{ОА}}$	$P_{\text{о.к}}$ – рентабельність власного капіталу; ЧП – чистий прибуток; ОА – власний капітал
Рентабельність необоротних активів	$P_{\text{н.а}} = \frac{\text{ЧП}}{\text{НА}}$	$P_{\text{н.а}}$ – рентабельність необоротних активів; ЧП – чистий прибуток; НА – необоротні активи
Рентабельність інвестицій	$P_{\text{i}} = \frac{\text{ЧП}}{\text{ВК} + \text{ДЗ}}$	$P_{\text{i}}$ – рентабельність інвестицій; ЧП – чистий прибуток; ВК – власний капітал; ДЗ – довгострокові зобов'язання
Коефіцієнт інноваційно-логістичних впроваджень	$K_{\text{ілв}} = \frac{\text{ФРОД}}{\text{ЛВ} + \text{ВІ}}$	$K_{\text{ілв}}$ – коефіцієнт інноваційно-логістичних впроваджень; ФРОД – фінансовий результат операційної діяльності; ЛВ – повні логістичні витрати, тис. грн; ВІ – витрати на впровадження інновацій

У наведеному вище методі визначення ефективності використання ресурсів підприємств харчової промисловості також необхідно використовувати чинники, що впливають на рівень ресурсозбереження та використання ресурсів. Цей підхід, у свою чергу, передбачає збільшення організаційної та методичної робіт, удосконалення методів обліку ресурсів та планування їх використання.

Усі чинники можна розподілити на такі умовні групи: політичні, економічні, соціальні та технологічні. Визначити їх можна за допомогою PEST-аналізу. PEST-аналіз – це маркетинговий інструмент виявлення політичних (Political), економічних (Economic), соціальних (Social) і технологічних (Technological) аспектів зовнішнього середовища, що впливають на розвиток бізнесу компанії (рис. 1.6).

Але знівелювати дію наведених нижче факторів та забезпечити виконання усіх завдань ресурсозбереження можна шляхом використання динамічного програмування. Він ґрунтується на визначеному Беллманом принципі оптимальності. Він один з перших розкрив суть цього принципу та з дивовижною винахідливістю почав застосовувати його до сотень різних оптимізаційних задач.

Але знівелювати дію наведених вище факторів та забезпечити виконання усіх завдань ресурсозбереження можна шляхом використання динамічного програмування. Він ґрунтується на визначеному Беллманом принципі оптимальності. Він один з перших розкрив суть цього принципу та з дивовижною винахідливістю почав застосовувати його до сотень різних оптимізаційних задач.

У випадку дослідженні ресурсозбереження, подання якого допускає детермінацію на послідовні етапи (кроки), кількість яких  $n$  задана. Ефективність усього процесу може бути подана як сума ефективностей  $Z_j (j = \overline{1, n})$  окремих кроків, тобто

$$Z_j = \sum_{j=1}^n Z_j \quad (1.2)$$

що має назву адитивного критерію (або як добуток ефективностей)  $x_j (j = \overline{1, n})$  окремих кроків у вигляді:

$$Z = \prod_{j=1}^n Z_j, \quad (1.3)$$

що має назву мультиплікативного критерію .

З кожним етапом (кроком) задачі пов'язане прийняття певного рішення, так званого крокового управління  $x_j (j = \overline{1, n})$ , що визначає як ефективність даного етапу, так і всього процесу в цілому.

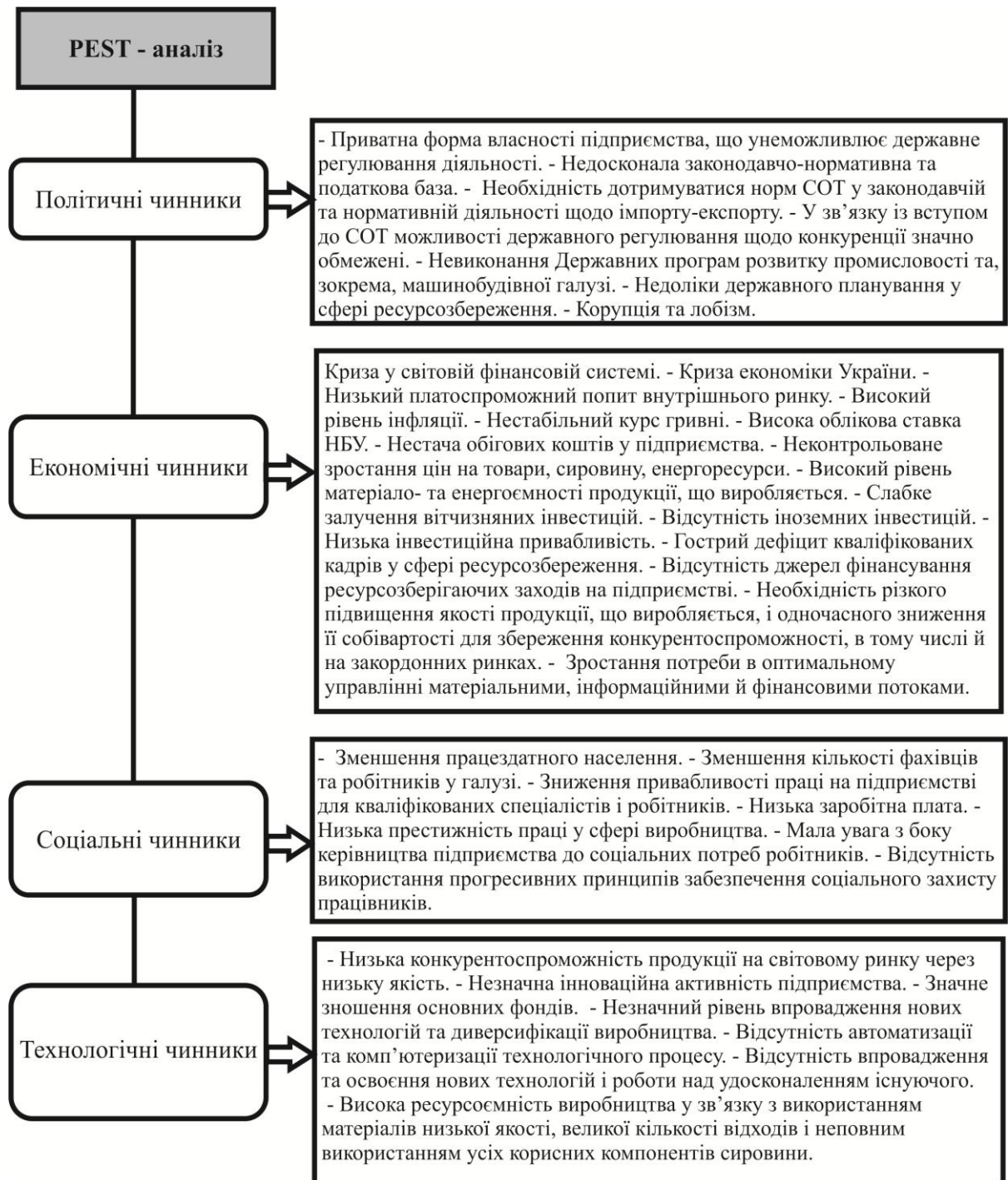


Рис. 1.6 – Схема PEST – аналізу в умовах харчової промисловості

Розв'язування задачі динамічного програмування полягає в знаходженні такого управління  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  процесом у цілому, яке максимізує загальну ефективність:

$$\max Z = \sum_{j=1}^n Z_j, \quad (1.4)$$

Оптимальним розв'язком цієї задачі є управління  $X^*$  що складається з сукупності оптимальних покрокових управлінь

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (1.5)$$

і уможливилює досягнення максимальної ефективності

$$Z^* = \max_{x \in X} \{Z(x)\}. \quad (1.6)$$

#### 1.4. Енергія – головна проблема сучасності

Кожен історичний етап розвитку науки і техніки ставить перед ученими й інженерами безліч питань. Проте серед них можна виокремити лише кілька фундаментальних, без розв'язання яких неможливий подальший розвиток цивілізації, підвищення життєвого рівня людства. З цього погляду, однією з головних проблем сьогодення і найближчого майбутнього, поза сумнівом, є забезпечення достатньої кількості енергії. Проблема ця досить гостра тому, що має не тільки суто технічний характер.

Слово “енергія” щодня вимовляють з екранів телевізорів, воно часто потрапляє на сторінки журналів і газет, а спеціальних видань – і поготів. Енергетична ситуація в окремих державах істотно впливає на життєвий рівень і культуру населення, позначається на внутрішній і зовнішній політиці. Країни з недостатніми енергетичними ресурсами докладають неабияких зусиль, щоб забезпечити себе хоча б найпотрібнішими джерелами енергії. Країни-експортери нафти, нафтові монополії мають величезні прибутки і надприбутки. З другого боку, у тиші своїх кабінетів можновладці інших держав виношують політичні і військові плани перерозподілу й збереження нафтових і газових промислів. Поняття “нафтове ембарго”, яке ще не так давно було невідоме, викликає паніку в цілій низці країн і стає зняряддям економічного та політичного шантажу. Все частіше виникають питання: “Як жити далі без нафти і газу? Чим опалювати житло і виробничі приміщення? Як надавати рух машинам і агрегатам? Як підтримувати технологічні процеси? Звідки брати енергію, щодня все більше енергії?”

Одна з найзагальніших властивостей енергії полягає в тому, що вона є основним мірилом руху матерії. Іншими словами, в тепловій енергії виробляється швидкий, безпосередній рух атомів і молекул, електричний струм є рухом електронів, механічна енергія – енергією рухомого тіла тощо. Таким чином, енергія нерозривно пов'язана з матерією й речовиною. Відповідно до знаного рівняння Ейнштейна  $E = mc^2$ , де  $E$  – повна енергія певного тіла,  $m$  – його маса,  $c$  – швидкість світла у вакуумі, будь-якій кількості енергії тіла (системи тіл) відповідає певна маса і навпаки. Якщо до того ж пригадати закон перетворення і збереження енергії, то можна констатувати таке: енергія являє собою властивість матерії й тому вона, так само як і матерія, не може бути створена з нічого або знищена.

Виникає питання: “Якщо енергія становить властивість будь-якої матерії, а матерії завжди досить, чому ж світ бореться з браком енергії?”. Відповідь проста: “Теорія підкріплюється практикою лише тоді, коли наука і техніка досягають відповідного рівня”. У даному випадку той рівень має бути таким, що за нього людина буде здатна одержувати енергію з будь-якої матерії в корисній формі, наприклад, у формі тепла або електрики. Це дасть

змогу розв'язати всі енергетичні проблеми людства. Таке теоретичне припущення переконливо підтверджене всім перебігом розвитку ядерної енергетики, яка для одержання енергії в корисній формі вже використовує матерію, а саме – так звані подільні матеріали.

### **Запитання і завдання для самоперевірки**

1. Ресурсозбереження, як фактор інтенсифікації виробництва.
2. Ресурсний потенціал харчових і переробних підприємств АПК.
3. Підходи науковців до визначення терміну «ресурсозбереження».
4. Види ресурсозбереження та їх класифікація.
5. Мотивації процесів ресурсозбереження.
6. Складові мотивації ресурсозбереження в Україні.
7. Ієрархія потреб у ресурсозбереженні.
8. Як стимулюється в Україні ресурсозберігаюча діяльність підприємств?
9. У чому різниця між поняттями «ресурсодоступність» і «ресурсоприйнятність»?
10. Запишіть формулу для визначення узагальню вального показника ефективності використання ресурсів.
11. Охарактеризуйте показники, що характеризують ефективність використання ресурсів харчових і переробних підприємств.
12. Застосування PEST-аналізу в умовах харчових і переробних підприємствах АПК.

## РОЗДІЛ 2

### ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

#### 2.1. Природні ресурси

Основою функціонування енергетики як паливно-енергетичного комплексу є забезпеченість ресурсами в конкретних умовах довкілля. Тому вже з початку ХХ ст. розвиток енергетики й енергопостачання розглядають як загальну систему використання природних ресурсів.

Природні ресурси – це запаси сировини та енергії, які видобувають з біосфери, наприклад, будівельні матеріали, метали, вода, викопне паливо, геотермальна енергія тощо. Іншими словами, природні ресурси – то засада людської цивілізації як форми контрольованого існування на всіх фазах її розвитку. Розвиток технології змінює напрям, масштаби і форми їхнього використання, визначає появу нових ресурсів.

Природні ресурси поділяються на дві категорії: відновлювані, які завдячують своїм походженням сонячній енергії (дощова вода, енергія вітру, продукти харчування, бавовна та вовна, деревина та ін.), і не відновлювані, або мінеральні ресурси, а саме: органічне паливо (вугілля, нафта, торф), мідь, залізо, уран, золото та ін., формування яких відбувалося протягом мільйонів років. Друга категорія ресурсів чітко фіксована і практично не відновлюється. Саме мінеральні ресурси визначають шляхи розвитку людської цивілізації. Класифікація корисних копалин та енергетичних ресурсів подана на рис. 2.1.

Мінеральні ресурси розміщені вкрай нерівномірно, деякі з них (нафта, газ, уран тощо) є обмеженими, а тому неможливо зберегти стабільні темпи їх розробки й використання.

Як правило мінеральні ресурси поділяють на дві групи: до першої належать ресурси, що їх видобувають у поточний період часу та називають видобувними запасами, до другої – потенційні ресурси, котрі завдяки своїм розмірам і місцеположенню за відповідних умов можуть бути використані в майбутньому.



Рис. 2.1 – Класифікація ресурсів корисних копалин та енергії

## 2.2. Викопне органічне паливо

Паливом називають горючу речовину, яку економічно доцільно спалювати для одержання великих кількостей теплоти. Упродовж ХХ ст. основним джерелом теплоти залишалися горючі речовини органічного походження – органічне викопне паливо, хоча присутньо зросло й обсяги використання ядерного палива (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Світові ресурси органічного палива

Викопне органічне паливо	Кількість у надрах, $10^{22}$ Дж	Кількість, яку можна видобути, $10^{22}$ Дж
Вугілля	42	21
Нафта і газ (рухомі)	2,6	2,6
Запечатана нафта (нерухома)	2,5	-
Важка нафта (бітумінозні піски)	5,0	0,5 – 2,5
Нетрадиційний природний газ	10	0,07
Горючі сланці	10200	1,0

Величезний енергетичний ресурс, що його становлять усі види органічного палива, підрозділяють на три основні категорії:

- потенційні запаси викопного палива, які на сучасному етапі розвитку науки і техніки неможливо або економічно недоцільно добувати;
- доступні, які можливо, але економічно не завжди доцільно добувати;
- економічні, видобуток яких економічно виправданий і доцільний на сучасному рівні розвитку науки і техніки.

Найбільший інтерес викликають нафта і газ, запаси яких обмежені. Водночас саме їх видобуток і переробка найбільш економічно вигідні й доцільні з погляду використання робочої сили та охорони довкілля.

Залежно від характеру використання паливо буває: енергетичним, технологічним і побутовим; за агрегатним станом – твердим, рідким і газоподібним; за способом одержання – природним і штучним.

Основними видами органічного палива, яке використовують в енергетиці, є: тверде (вугілля і торф); рідке (мазут); газоподібне (природний газ). Торф і вугілля – продукти розкладу органічної маси рослин, які відрізняються один від одного хімічним віком (торф – наймолодший). Щонайдавніші родовища вугілля відомі в канадській Арктиці (~ 350 млн. років). Найважливіший період вуглеутворення в історії Землі припадає на останні 350 – 250 млн. років. Вугленосні поклади в цей проміжок часу виявлено на всіх континентах, але найпотужніші – у Північній Америці, Європі й Азії, які протягом періоду вуглеутворення розташовувалися в екваторіальних і помірних широтах. Теплий клімат і достатня кількість опадів сприяли розвитку величезних масивів боліт і формуванню вугілля в цю знаменну вугільну епоху.

Геологи вважають, що вагомішу частину головних вугільних басейнів уже відкрито. Світові запаси всіх видів вугілля оцінено в 8620 млрд. т, а додаткові потенційні ресурси – в 6650 млрд. т. До видобувних запасів вугілля зараховують запаси, що містяться в шарах потужністю не менше 0,3 м завтовшки і залягають на глибині не більше 2 000 м. Запаси вугілля, що не відповідають цим вимогам, належать до потенційних ресурсів. Приблизно 43% вугілля світу залягають у країнах СНД (колишнього СРСР), 29% – у Північній Америці, 14,5% – у країнах Азії, переважно в Китаї, 5,5% – у Європі. На решту світу припадає 8% вугілля. Хоча вугілля у всьому світі не є основним видом палива, але труднощі із забезпеченням нафтою і газом ведуть до того, що в найближчі десятиліття вугілля стане панівним паливом на планеті.



Викопне вугілля поділяють на три чільні види: буре, кам'яне і антрацит; буре вугілля за своїм хімічним віком є старшим від торфу, слідом за ним іде кам'яне вугілля, а потім – антрацит. Значна роль у забезпеченні ПЕК паливом належить нафті та природному газу. Дані щодо їх регіонального розподілу наведено на рис. 2.2. Енергетичний еквівалент оцінених потенційних ресурсів (за даними всесвітньої енергетичної конференції) становить: нафти –  $(1,5 \cdot 10^{22})$  Дж, газу –  $(1,1 \cdot 10^{22})$  Дж. Як бачимо, ресурси нафти й газу, так само як і вугілля, розміщені на земній кулі досить нерівномірно. За умов збереження наявної швидкості зростання споживання всі ресурси нафти й газу можуть вичерпатися вже через кілька десятиліть.

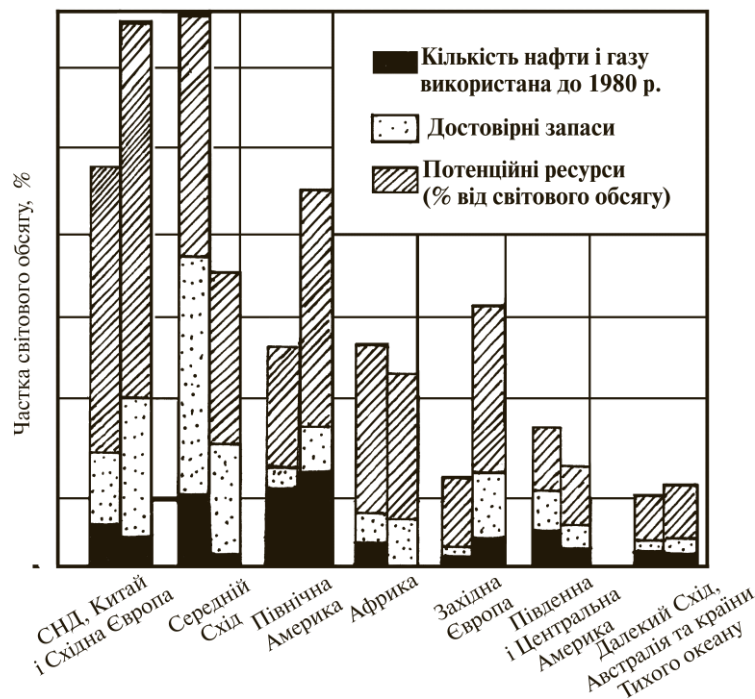


Рис.2.2 – Потенційні ресурси нафти і газу

Людство цікавлять дві проблеми, безпосередньо пов'язані з теплоенергетикою: на який термін вистачить ПЕР і де межа забруднення атмосфери? Нині світове використання енергоресурсів протягом року дорівнює 17 – 25 млрд. т у. п., енергоємність яких еквівалентна 450 – 500 ЕДж. Якщо виходити з цієї цифри і світових запасів енергоресурсів (табл. 2.2), то самого лише органічного палива людству вистачить на тисячу років.

Сучасна технологія дає змогу видобувати далеко не весь обсяг ПЕР. Не всі країни мають оптимальне співвідношення між рівнем видобутку ПЕР і їхнім використанням. Це змушує нас констатувати, що енергетична криза цілком реальна вже в ХХІ ст., оскільки сьогодні людство не знайшло шляхів її подолання.

Таблиця 2.2 – Світові енергоресурси

	Джерело енергії	Ресурс, Едж*
1.	Не відновлювані: ядерна енергія хімічна енергія органічного палива	$1,97 \times 10^6$ $5,21 \times 10^5$
2.	Невичерпні: термоядерна енергія синтезу геотермальна енергія	$3,6 \times 10^9$ $2,9 \times 10^6$
3.	Відновлювані: сонячна енергія, що досягає земної поверхні й перетворюється на теплову енергія морських припливів енергія вітру енергія річок біоенергія лісів	$2,4 \times 10^6$ $2,5 \times 10^5$ $6,1 \times 10^3$ $1,2 \times 10^2$ $1,5 \times 10^3$

\* Едж – ексаджоуль ( $10^{18}$  Дж)

Як видно з табл. 2.2, доволі перспективним здається використання альтернативних відновлюваних і невичерпних джерел ПЕР. Утім, сучасна енерготехнологія ще далека від масового їхнього застосування. Проте, людство досі не наблизилось до розв'язання проблем використання термоядерної енергії, загальні запаси якої є просто-таки фантастичними –  $3,6 \times 10^9$  Едж (за нинішнього рівня енерговитрат їх вистачить на 10 млн. років!).

Стосовно України, то її енергетика нині перебуває у важкому стані, попри те, що тільки розвідані запаси вугілля тут становлять ~ 47 млрд. т. Однак технологія видобутку вугілля не відповідає геологічним особливостям родовищ. Спостерігається значний дефіцит решти видів ПЕР, що наочно демонструють дані табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Енергоресурси України: річний видобуток і потреба (кінець ХХ ст.)

Вид палива	Обсяг		Частка забезпечення власними ПЕР, %
	використання	виробництва	
Природний газ	112 млрд. м <sup>3</sup>	22 млрд. м <sup>3</sup>	20
Нафта	32 млн. т	4,2 млн. т	13
Вугілля	100 млн. т	80 млн. т	80
Ядерне паливо	Твело виробляє Росія	Уран видобуває Україна	0

### 2.3. Склад і характеристики органічного палива

Паливо, яке подають до енерготехнологічних установок для його подальшого спалювання, називається робочим. До його складу входять: вуглець С, водень Н, сірка S, кисень О, азот N, а також волога W і мінеральні домішки А. Названі елементи утворюють складні хімічні сполуки.

Наявність кисню й азоту становить внутрішній баласт палива і знижує його енергетичну цінність. Уміст кисню в паливі коливається від 2% (антрацит) до 40% (деревина), в мазуті – менше 1%. Вміст азоту в твердому й рідкому паливі є не більшим 1%. Волога і мінеральні домішки (зола) являють собою зовнішній баласт палива. Вміст золи в твердому паливі – 1 – 60% (5 – 60%) на робочу масу, в мазуті – 0,1 – 0,3%, вологи – 1 – 2%.

Власне горючими складниками в органічному паливі є вуглець, водень і сірка. Головна складова – вуглець: чим вище його вміст, тим більше теплоти виділяється під час згорання палива. Зі збільшенням віку палива вміст вуглецю зростає, водню – зменшується.

Під час спалювання горючих речовин відбувається окислення вуглецю киснем повітря. Якщо вуглець згорає повністю, то утворюється відносно нешкідливий діоксид вуглецю  $CO_2$  і виділяється 32,8 МДж теплоти на 1 кг вуглецю. Якщо ж процес горіння організовано неправильно (наприклад, бракує повітря), продуктом згорання є надто токсичний оксид вуглецю  $CO$  і виділяється всього 9,2 МДж теплоти. Уміст вуглецю в твердому паливі – 25 – 93% на робочу масу, в мазуті – 83 – 88%.

Важливою горючою складовою палива є водень, вміст якого коливається у твердому паливі від 2 до 5%, у рідкому – від 10 до 15%. Кількість теплоти, що виділяється під час згорання (окислення) водню становить 120,8 МДж на 1 кг водню.

Третій горючий елемент – сірка: органічна (у сполуках з воднем, вуглецем, азотом і киснем) –  $S_{op}$ , колчеданна (у сполуках із залізом) –  $S_{кол}$ , сульфатна (у вигляді солей сірчаної кислоти  $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $FeSO_4$  та ін.) –  $S_c$ .

Властивості твердого палива як горючого матеріалу визначаються його складовими в сухому беззольному стані ( його позначають індексом  $daf$ : dry ask frek – умовний стан палива, що не містить загальної вологи і золи). Сюди входять елементи органічної маси палива і колчеданна сірка, що згорає разом з органічною масою. Таким чином, склад палива характеризується масовим вмістом елементів, які його утворюють, а саме:  $C_{daf}+H_{daf}+O_{daf}+N_{daf}+S_{daf}$ . Тут  $S_{daf}$  – сумарний вміст горючої сірки. Сірка органічна і колчеданна становлять горючу або летку сірку  $S_{л}^{daf}=S_{o}^{daf}+S_{кол}^{daf}$ . Сірка сульфатна не є горючою і входить до складу золи. Вміст горючої сірки: у твердому паливі від 0 до 9 %, у мазуті від 0,5 до 4%. У процесі повного згорання 1 кг сірки виділяється 9,2 МДж теплоти. При цьому утворюється токсичний сірчистий ангідрид  $SO_2$  і (у невеликих кількостях) ще токсичніший сірчаний ангідрид  $SO_3$ . Їхні викиди з продуктами згорання забруднюють повітряний басейн, а в сполученні з

водою (водяною парою) є причиною кислотних дощів через утворення відповідних кислот ( $H_2SO_3$  та  $H_2SO_4$ ).

Уміст азоту в сухому без зольному стані твердих палив зазвичай становить 1 – 2% від загальної маси. Попри малу кількість, азот є досить шкідливим компонентом, оскільки, згораючи у високотемпературних топках, азотовмісні сполуки утворюють сильно токсичні паливні оксиди азоту  $NO$  та  $NO_2$  (при температурі понад  $1200^\circ C$  вони утворюються також з атмосферного азоту).

Зовнішнім баластом палива є вологість і зола. Вологість твердого палива в робочому стані може перевищувати 50%. Від неї залежить економічна доцільність використання цього паливного матеріалу і можливість його спалювання (наприклад, для перетворення одного кілограма води, узятої при температурі  $0^\circ C$ , на водяну пару кімнатної температури треба 2,5 МДж теплоти).

Мінеральні домішки, наявні в паливі, згораючи, перетворюються на золу та шлак. Відповідно до стандартних норм золу слід уловлювати, транспортувати у відвали або (що доцільніше) утилізувати й використовувати в народному господарстві.

Важливими характеристиками органічного палива є: вихід летких речовин (для твердого палива) і теплота згорання.

**Таблиця 2.4 – Основні характеристики українського твердого палива**

Види палива	Вихід летких $V_L, \%$	Уміст сірки $S_{HP}, \%$	Вологість $W_p, \%$	Зольність $A_p, \%$	Теплота згорання (Мдж/кг) $Q_{HP}$
Торф	$\geq 70$	0,1...0,2	30...50	5...23	10,5...14,6
Буре вугілля	$> 40$	0...8	30÷40	15...30	10,0...17,0
Кам'яне вугілля	9...50	0...8	5...10	18...30	24,0..29,0
Антрацити	2...9	0...8	5...10	$< 5$	$\sim 26,0$
Напівантрацити	5...9	0...8	$< 5$	$< 5$	28 – 30

\* індекс  $p$  означає робочу масу

Вихід летких речовин,  $V^{daf}$  у відсотках до сухого без зольного стану визначають, нагрівши 1 кг палива в закритому тиглі при температурі  $850 \pm 100^\circ C$  протягом 7 хв, унаслідок чого утворюються гази, водяна пара і вуглецевмісний осад. Чим більше вихід летких, тобто чим більше сухої без зольної маси перетворюється у процесі нагрівання на горючий газ, тим простіше запалити ці речовини і легше підтримати процес горіння. Органічна частина деревини і горючих сланців під час нагрівання майже цілком переходить у леткі речовини ( $V_p^r = 85 - 90\%$ ), тим часом як в антрацитах  $V_p^r = 3 - 4\%$ . (див. табл. 2.5).

Теплота згорання – кількість теплоти, що виділяється у процесі

повного згорання палива. Розрізняють вищу робочу  $Q_{\text{в}}^{\text{P}}$  і нижчу робочу  $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$  теплоту згорання (теплотворну здатність палива).

Вища теплота згорання  $Q_{\text{в}}^{\text{P}}$  – це кількість теплоти, що виділяється під час згорання 1 кг твердого, рідкого або  $1\text{ м}^3$  газоподібного палива у процесі перетворення водяної пари, що міститься в продуктах згорання, на рідину. Нижча теплота згорання  $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$  є меншою за вищу  $Q_{\text{в}}^{\text{P}}$  на кількість теплоти, витраченої на перетворення вологи у продуктах згорання з рідини на водяну пару. Волога подекуди утворюється внаслідок згорання водню в паливі ( $9\text{H}^{\text{P}}$ ).

Для порівняльних розрахунків різного палива використовують поняття “Умовне паливо”.

Умовне паливо – це паливо, теплота згорання якого визнана такою, що дорівнює  $29,35$  МДж/кг ( $7000$  ккал/кг). Щоб перевести реальну кількість палива в умовне, треба помножити кількість цього палива на його еквівалент  $E = Q_{\text{н}}^{\text{P}} / 29,35$ .

Максимальна нижча теплота згорання твердого палива доходить до  $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 28$  МДж/кг, мінімальна становить  $10$  МДж/кг і нижче (залежно від баласту). Теплота згорання безводних мазутів  $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 39 - 41,5$  МДж/кг. Оскільки елементний склад будь якого рідкого палива, яке дістають нафто перегонном, практично однаковий, то й їхня теплота згорання є майже однаковою.

Хімічний склад первородної нафти і газу практично не змінився і залишився в межах порівняно вузького ряду хімічних сумішей (табл. 2.5).

*Таблиця 2.5 – Хімічний склад нафти і природного газу*

Елемент	Нафта, %	Природний газ, %
Вуглеводень	82,2 – 87,0	65 – 80
Водень	11,7 – 14,7	1 – 25
Сірка	0,1 – 5,5	Сліди – 0,2
Азот	0,1 – 1,5	1 – 15
Кисень	0,1 – 4,5	–

Рідке паливо одержують, переробляючи нафту. Сиру нафту нагрівають до  $300...370^{\circ}\text{C}$ , після чого отриману пару розділяють на фракції, що конденсуються за різної температури  $t_{\text{к}}$ : зріджений газ (вихід до 1%), бензинову (близько 15 %,  $t_{\text{к}} = 30...180^{\circ}\text{C}$ ), газову (до 17%,  $t_{\text{к}} = 120...135^{\circ}\text{C}$ ), дизельну (близько 18 %,  $t_{\text{к}} = 180...350^{\circ}\text{C}$ ). Рідкий залишок з температурою початку кипіння  $330...350^{\circ}\text{C}$  називають мазутом. Зазначені фракції слугують вихідною сировиною для одержання мастильних матеріалів і палива для двигунів внутрішнього згорання і газотурбінних установок (бензину, гасу, дизельного палива тощо).

Дотепер мазут залишається основним рідким енергетичним паливом. Він становить складну суміш вуглеводнів, до складу яких входить вуглець ( $\text{C}^{\text{P}} = 84 - 88\%$ ) і водень ( $\text{H}^{\text{P}} = 10 - 12\%$ ). Це забезпечує високу теплоту згорання мазуту ( $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 40...41$  МДж/ кг). Баласт мазуту невисокий  $A^{\text{P}} = 0,2 - 0,3$  %;  $W^{\text{P}} = 0,1 - 1\%$ . До складу мінеральних домішок  $A^{\text{P}}$  входять сполуки

ванадію, нікелю, заліза та інших металів.

Одним з основних показників мазуту є в'язкість (обумовлює можливість його розпилення залежно від температури) і сірчистість (визначається вмістом сірки: мало сірчисті (до 0,5%), середньо сірчисті (до 2%) і високо сірчисті (до 3,5%)). Мазут, одержуваний з нафти багатьох родовищ, може містити сірки до 4,3%, а це надто ускладнює захист довкілля та устаткування.

Чільним видом газоподібного палива є природний газ, основним компонентом якого (85 – 98 %) постає метан  $\text{CH}_4$ . До складу природного газу також входять такі горючі складові: важкі вуглеводні  $\text{C}_n\text{H}_m$ , водень  $\text{H}_2$ , сірководень  $\text{H}_2\text{S}$ , моно оксид вуглецю  $\text{CO}$ , баластні гази –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , вода  $\text{H}_2\text{O}$ , та кисень  $\text{O}_2$ .

Теплота згорання природного газу дорівнює 31,0...37,9 МДж/кг. Природний газ очищують від сірчистих сполук, але частина їх (переважно сірководень) може залишатися.

У процесі видобутку нафти виділяється так званий попутний газ, що містить менше метану, ніж природний, але більше вищих вуглеводнів і тому виділяє під час згорання більше теплоти. Нині досить актуальною є проблема його повного використання в енергетиці і промисловості.

У промисловості й особливо в побуті широко застосовують зріджений газ, одержаний в результаті первинної переробки нафти і попутних нафтових газів: технічний пропан (не менше 93%  $\text{C}_4\text{H}_{18} + \text{C}_3\text{H}_6$ ), технічний бутан (не менше 93 %  $\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_4\text{H}_8$ ) та їхні суміші.

На металургійних заводах як попутні продукти одержують коксовий і доменний гази, які застосовують для опалення печей і технологічних апаратів. Іноді (після очищення від сірчистих сполук) коксовий газ використовують для побутового газопостачання прилеглих житлових масивів. Проте через великий вміст  $\text{CO}$  (5 – 10%) він значно токсичніший від природного газу. Надлишки доменних газів найчастіше спалюють у топках заводських електростанцій.

У районах вугільних шахт своєрідним “паливом” може слугувати метан, що виділяється з шахтних горизонтів під час їх вентиляції. Однак при цьому слід мати на увазі, що концентрація метану в суміші з повітрям в діапазоні 5 – 15% є вибухонебезпечною.

Останніми роками в Україні знов відродився інтерес до газів, що утворюються внаслідок газифікації (генераторним шляхом) або через суху перегонку (у процесі нагрівання без доступу повітря) твердого палива, щонайперше, важкоприступного вугілля Донецького родовища.

У багатьох країнах світу все частіше застосовують біогаз – продукт анаеробної ферментації органічних відходів (гною, рослинних залишків, сміття, стічних вод тощо), зброджування яких дає змогу розв'язати надзвичайно гостру проблему забруднення довкілля рідкими відходами шляхом перетворення їх на біогаз і високоякісні добрива.

## 2.4. Нетрадиційні і відновлювані енергоресурси

Існуючі моделі розвитку суспільства позначають прямо пропорційну залежність між науково-технічним прогресом (символом економічного благополуччя й добробуту) і споживанням енергії на душу населення. У країнах Західної Європи воно становить понад 3 т вугілля на рік (близько 100 ГДж), у США і Канаді цей показник утричі вищий (~300 ГДж), але в більшості країн Африки він є в 30–40 разів нижчим. Зараз людство вступає в епоху нетрадиційної енергетики.

Проблема використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЖЕ) в різних галузях народного господарства починаючи з другої половини ХХ ст. привертає пильну увагу наукової громадськості багатьох країн світу. Такі потрясіння, як світова енергетична криза 1973 р. і Чорнобильська катастрофа 1986 р., примусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику щодо темпів і перспектив практичного застосування НВДЖЕ. Якщо раніше світову спільноту хвилювало питання можливості надійно забезпечити себе енергією, то тепер головною проблемою стала інтеграція енергії та екології.

Інтерес до НВДЖЕ зумовлений двома негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики: швидким виснаженням природних паливно-енергетичних ресурсів і забрудненням довкілля. За даними ООН, уже до середини ХХІ ст. можливе виснаження основних видів викопного палива – вугілля й урану (U238). Перспективні технології традиційної енергетики, підвищуючи ефективність використання первинних ПЕР, аж ніяк не поліпшують екологічну ситуацію. Теплове, хімічне і радіоактивне забруднення довкілля може спричинити катастрофічні наслідки.

Одним з головних напрямків нетрадиційної енергетики є перетворення і використання енергії Сонця прямими та непрямими методами. Практично всі енергетичні ресурси Землі є, зрештою, продуктами діяльності Сонця. Прямі методи використання сонячної енергії ґрунтуються на перетворенні променистої енергії Сонця на електричну й теплову. Непрямі – дають змогу застосовувати кінетичну і потенційну енергію, що виникає внаслідок сонячного випромінювання з біосфери.

До основних нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії належать: енергія Сонця, вітру, тепла Землі (наприклад, паро гідротермічна), біомаси (органічні відходи господарської діяльності людини, енергетичні плантації), океанів і морів (наприклад, припливів і відпливів, температурного градієнта великих товщ води), гідроенергія (малих річок, гідроаккумулятивних систем), а також вторинні енергетичні ресурси (теплові відходи промислових і сільськогосподарських підприємств).

Сумарний потенційний внесок усіх НВДЖЕ в світовий енергетичний баланс уже до кінця 2000 р. становив майже 10%. Об'єм використання їх окремих видів розподіляється таким чином (млн. т у.п.): сонячна енергія (на гаряче водопостачання й опалювання) – 36; геотермальна енергія – 29;

енергія вітру – 7; енергія біомаси – 7; інші види енергії – 7 (усього – 86 млн. т у.п.).

Співтовариство шукає “нову енергію”, насамперед, у напрямі використання НВДЖЕ (табл. 2.6). Так, виходячи з географічних, науково-економічних та екологічних чинників, Україні доцільно розглядати використання таких НВДЖЕ, як енергія Сонця, вітру, біомаси, малих річок, готермальна енергія, ресурси яких подано в табл. 2.7.

**Таблиця 2.6 – Виробництво теплової та електричної енергії в країнах ЄС на базі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії**

Тип НВДЖЕ	Виробництво енергії, млн. т н.е.		Загальні капітальні витрати в 1997-2015 рр., млрд. дол.	Зниження викидів CO <sub>2</sub> до 2015 року, млн. т/рік
	1995	2015		
Вітроенергетика	0,35	6,9	34,56	72,0
Гідроенергетика	26,4	30,55	17,16	48,0
Фотоелектрична енергетика	0,002	0,26	10,8	3,0
Біомаса	44,8	135	100,8	255,0
Геотермальна енергетика	2,5	5,2	6,0	5,0
Сонячні теплові колектори	0,26	4,0	28,8	19,0
Усього	74,3	182	198,12	402,0

Примітка. Теплота згорання 1 т нафтового еквівалента (1 т н. е.) –  $Q_n^p=41,86$  ГДж.

Використання відновлюваних джерел енергії створить можливість знизити споживання дефіцитних для України нафтопродуктів (загальний обсяг – приблизно 300 млн т у.п./рік) на 5 – 6%, зокрема за рахунок використання геліоресурсов – на 1,7%, вітроенергії – на 2,8%; геотермальної енергії – на 0,1%; біогазу – на 0,2%; гідроенергії річок – на 0,9% (окремо великих – 0,6%; малих – 0,3%).



Таблиця 2.7 – Ресурси відновлюваних джерел України

Джерело енергії	Теоретичний потенціал	Використання на початку XXI ст.		Технічний потенціал		Рекомендований обсяг використання	
	МВт г на рік	МВт г на рік	т у.п.	МВт г на рік	т у.п.	МВт г на рік	т у.п.
Геліоресурси	$720 \cdot 10^9$	$81 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^9$	$0,16 \cdot 10^9$	30- $40 \cdot 10^9$	3,6 – $4,8 \cdot 10^6$
Вітроенергетика	$965 \cdot 10^9$	$0,80 \cdot 10^3$	$0,096 \cdot 10^3$	$0,36 \cdot 10^9$	40 – $70 \cdot 10^9$	4,8 – $8,4 \cdot 10^6$	4,8 – $8,4 \cdot 10^6$
Геотермальна енергетика	$5128 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,049 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^9$
Біоенергія с.г. відходів	$12,5 \cdot 10^6$	$0,14 \cdot 10^3$	$0,002 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^6$	$0,73 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^6$	$0,73 \cdot 10^6$
Гідроенергетика:	$42,4 \cdot 10^6$	$10,2 \cdot 10^6$	$1,22 \cdot 10^6$	$21,5 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$	$21,5 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$
велика	$2,5 \cdot 10^6$	$9,7 \cdot 10^6$	$1,16 \cdot 10^6$	$15,1 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$	$15,1 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$
мала	$17,4 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$0,06 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$

### Запитання і завдання для самоперевірки

1. Що таке паливно-енергетичний комплекс? Його особливості.
2. Що може бути сировиною для паливно-енергетичного комплексу?
3. Який енергетичний потенціал харчової та переробної промисловості?
4. Класифікація відходів харчової промисловості та її фізичні і енергетичні властивості.
5. Який склад і характеристика фізичних палив?
6. Які відомі нетрадиційні і відносно нові енергоресурси?
7. Які техніко-економічні показники якості енергоресурсів харчової промисловості?

## РОЗДІЛ 3

### ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В ЕНЕРГЕТИЦІ

#### 3.1. Роль органічного палива і основи теорії горіння

У всьому світі понад 80% теплової та електричної енергії одержують, спалюючи викопне органічне паливо і перетворюючи його хімічну енергію на електричну й теплову. Як наслідок, теплоенергії належить одне з перших місць у забрудненні довкілля, насамперед продуктами згорання палива. Близько 80% усіх видів забруднень біосфери зумовлено саме енергетичними процесами.

Як було показано в попередніх розділах, запаси паливно-енергетичних ресурсів планети до кінця ХХ ст. істотно зменшилися. У структурі викопного органічного палива питома вага нафти становить близько 45%, природного газу – 18%, вугілля – 37%. Загальне уявлення про світове використання енергоресурсів за останні 100 років дають дані табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Сумарне світове енергоспоживання

Показник	1900	1950	1975	1990	2000
Сумарне енергоспоживання, млрд. т у. п.	0,95	2,86	8,6	17,0	25,0
Населення, млрд. осіб	1,62	2,5	3,8	4,6	5,2
Питомі енерговитрати (т. у.п. на 1 особу на рік)	0,59	1,16	2,32	3,7	4,8

Нафта, природний газ і вугілля спалюють у таких кількостях, що газоподібні, рідкі і тверді продукти їх згорання повільно, але неухильно змінюють склад атмосфери, забруднюють гідросферу й літосферу. В атмосферу щорічно викидають десятки мільярдів тонн газоподібних і пароутворювальних сполук, твердих частинок, склад яких визначається видом і умовами спалювання органічного палива. Це безпосередньо є чинним і для енергетики України, варто лише врахувати бодай масштаби й умови спалювання органічного палива. Для цього достатньо проаналізувати загальні дані щодо споживання основних видів палива всім ПЕК України (табл. 3.2).

Головне джерело забруднення середовища в теплоенергетиці – газоподібні продукти згорання органічного палива, що викидаються через димар.

Основою горіння постають реакції окиснення горючих речовин палива, в результаті яких вихідні речовини (паливо й окиснювач) перетворюються на компоненти (продукти згорання) з іншими фізичними і хімічними властивостями. Характерною ознакою горіння є процес, що швидко відбувається, супроводжується інтенсивним виділенням теплоти, різким

підвищенням температури й утворенням розжарених продуктів з різним ступенем світності.

Розрізняють горіння палива без утрат теплоти (стехіометричне або повне), горіння з утратами теплоти (відновне або неповне) і змішане (окислювально-відновне), характерне для спалення твердого палива в процесі нерівномірної взаємодії поверхонь згорання з повітрям. Під час повного згорання всі горючі речовини палива беруть участь в окислювальних процесах, при цьому утворюються тільки оксиди – CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O.

**Таблиця 3.2 – Споживання органічного палива в Україні станом на 2015 р.**

Вид палива	Паливно-енергетичний комплекс	Мала енергетика	Усього
Природний газ млрд. м <sup>3</sup> (млн. т. у.п.)	124 (142)	74 (85)	198 (229)
Нафта і нафтопродукти млн. т (млн. т. у.п.)	41 (56)	25 (34)	66 (90)
Вугілля, млн. т (млн. т. у.п.)	128 (90)	77 (34)	206 (124)
Усього, млн. т. у.п.	286	174	460

Реальне згорання, як правило, є неповним. Розрізняють механічну і хімічну неповноту горіння. У першому випадку певна кількість палива не бере участь у процесі горіння. Хімічні втрати виникають у випадку хімічно неповного окиснення вуглецевмісних сполук та утворення оксиду вуглецю, а також у разі, коли частина горючих газоподібних речовин, одержаних у процесі випаровування і термічному розкладанні рідкого палива (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та ін.), залишають зону горіння ще до завершення окислювальних процесів.

Як окиснювач під час горіння переважно застосовують кисень атмосферного повітря, адже він є легко приступним і зручним у використанні.

Процес горіння газоподібного палива умовно можна розділити на дві стадії: перша – утворення горючої суміші (суміші палива і повітря); друга – нагрівання, запалення і горіння горючої суміші. Складнішим є процес горіння рідкого палива. Початковою його стадією є нагрівання, розпилування і випаровування пального. Потім утворені краплини й пара пального змішуються з повітрям, і горюча суміш нагрівається, запалюється та згорає.

Залежно від агрегатного стану палива й окиснювача розрізняють гомогенне і гетерогенне горіння. Якщо паливо та окиснювач перебувають в однаковому агрегатному стані й між ними немає поверхні поділу фаз, то вони утворюють гомогенну систему, в якій протікає процес гомогенного горіння. Прикладом постає горіння газоподібного палива. Якщо ж агрегатний стан

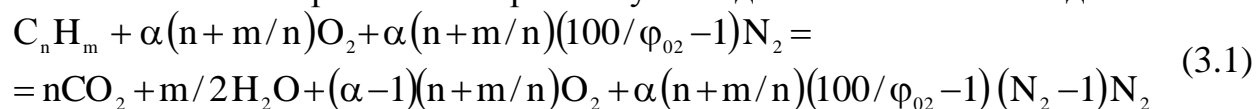
палива й окиснювача є різним, то вони утворюють гетерогенну систему, в якій відбувається процес горіння рідкого палива.

Якщо швидкість перебігу хімічної реакції між паливом і окиснювачем значно нижча за швидкість утворення горючої суміші, то підсумкова швидкість процесу горіння лімітується лише швидкістю хімічної реакції, тобто процесами хімічної кінетики. Таке горіння називають кінетичним. Якщо ж швидкість підведення окиснювача до палива менша за швидкість хімічної реакції окиснення, то сумарна швидкість горіння не залежить від швидкості реакції й лімітується тільки швидкістю процесу сумішоутворення, що його визначальним чинником є процеси дифузії кисню до палива. Таке горіння називають дифузійним.

### 3.2. Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива

Склад продуктів згорання і кількісні співвідношення в них окремих компонентів залежать від властивостей і складу палива, а також від міри завершеності реакції горіння. У цьому можна переконатися на прикладі спалювання природного газу, що, як відомо, переважно складається із суми вуглеводнів  $C_nH_m$ . Окрім вуглеводнів  $C_nH_m$  у природному газі, що надходить зі свердловини, міститься певна кількість води ( $H_2O$ ) і сірководню ( $H_2S$ ). Природний газ перед подачею споживачеві очищають, видаляючи з нього вологу і сірководень.

Узагальнене рівняння згорання вуглеводню має такий вигляд:



де  $\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря;

$n, m$  – кількість атомів у молекулі певного вуглецю;

$\varphi_{O_2}$  – об'ємна частка кисню в окиснювачі, %.

Як видно з рівняння (3.1), в результаті згорання вуглеводнів ( $C_nH_m$ ) на одну молекулу паливної компоненти утворюється  $n$  молекул вуглекислоти –  $CO_2$  і  $m/2$  молекул пари води ( $H_2O$ ). Названі компоненти належать до так званих парникових газів, збільшення концентрації яких визначає зміну умови теплової рівноваги на поверхні Землі. Крім того, в місцях великої концентрації валових викидів водяної пари можуть дати ознаки негативні наслідки, пов'язані з локальною зміною мікроклімату.

Окрім продуктів повного згорання  $CO_2$  і  $H_2O$ , азоту  $N_2$  і надмірної кількості кисню  $O_2$  у димових газах можуть міститися продукти неповного згорання у вигляді оксиду вуглецю  $CO$ , що його в побуті називають чадним газом, водню  $H_2$  і незгорілих вуглеводнів ( $C_xH_yO_z$ ). Одним з токсичних продуктів неповного згорання є формальдегід ( $CHOH$ ). Він характеризується токсичністю, що в сотні разів більша за токсичність  $CO$ .

Серед безлічі реакцій, що відбуваються в зоні горіння, є і так звані проміжні реакції, внаслідок яких можуть утворюватися сажа ( $C$ ) і надто

токсичні ароматичні вуглеводні, основним представником яких є бенз(а)пірен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>).

Сажисті частинки потрапляють у простір у вигляді аерозолів і зі збільшенням їхньої концентрації негативно діють на дихальні органи людини.

Ще більшої шкоди завдає довкіллю одночасний викид сажі та бенз(а)пірену. Це зумовлено тим, що, маючи високі адсорбційні властивості, частинки сажі концентрують на своїй поверхні бенз(а)пірен, сильнодіючий канцерогенний ефект якого спричинює ракові захворювання у населення промислових регіонів.

Серед проміжних реакцій у зоні горіння відбуваються також реакції дисоціації. Наприклад, дисоціація кисню у результаті якої з однієї молекули утворюється два атоми кисню.



Атоми кисню O характеризуються підвищеною хімічною активністю і, зіткнувшись із, як правило, нейтральною молекулою азоту N<sub>2</sub> при високих температурах, сприяють реакції утворення так званого термічного оксиду азоту NO



Унаслідок реакції (3.3) утвориться активний атом азоту N, який реагує з киснем, утворюючи додатковий оксиду азоту і хімічно активний атомарний кисень



Відтак, у продуктах згорання утворюється певна кількість оксидів азоту, концентрація яких залежить від багатьох чинників і, понад усе, від рівня температур у зоні горіння. Тому такі оксиди азоту називають термічними. Теорію термічних оксидів вперше розробив Я.Б. Зельдович.

У процесі спалювання в котельних установках рідкого (зазвичай мазуту) і твердого палива, достоту як і у випадку з природним газом, утворюються компоненти продуктів повного згорання CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O, що є парниковими газами, а також оксиди сірки SO<sub>2</sub> і частково SO<sub>3</sub>. Оксиди сірки також належать до парникових газів, але найбільша їхня екологічна небезпека полягає у високій токсичності та здатності утворювати кислотні дощі.

Природа утворення оксидів сірки під час спалювання рідкого і твердого палива різна.

Під час спалювання рідкого палива одним із джерел утворення SO<sub>2</sub> є сполуки, що містять органічну сірку, наприклад, метилмеркантан – CH<sub>3</sub>S.

Крім того, до складу макромолекули рідкого і твердого палива входить тіофен (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S), який також є джерелом утворення SO<sub>2</sub>.

Якщо відомо елементарний склад палива, то з хімічного рівняння



бачимо, що у процесі спалювання 1 кг речовини утворюється 2Sp на 100 кг оксиду сірки (де Sp – уміст сірки в робочій масі палива, %).

До складу рідкого і твердого палива входить також азот палива  $N_p$  у формі сполук на зразок піролу  $C_4H_5N$  і піридину  $C_5H_5N$ . Ці сполуки можуть бути додатковим джерелом утворення так званих паливних оксидів азоту  $NO$  і  $NO_2$ .

Під час спалювання рідкого і твердого палива, порівняно з природним газом, додатково не лишень утворюються оксиди сірки і паливні оксиди азоту, а й виникають проблеми з утворенням золи. Це особливо актуально щодо спалювання високозольного твердого палива, зольність якого  $A_p$  може перевищувати 30%. Спалювання твердого палива породжує дві екологічні проблеми:

- викидання в атмосферу частинок золи у вигляді аерозолів;
- нагромадження великої кількості твердих відходів у вигляді золошлакових відвалів поблизу джерела спалювання твердого палива.

Наявність золошлакових відвалів спричиняє теплове забруднення атмосфери і літосфери, спотворює ландшафт і забруднює ґрунтові води. Потрапляння відповідної кількості незгорілих речовин (у вигляді механічного палива) продовжує окисні та інші реакції всередині відвального об'єму з утворенням "букета" токсичних газів, що забруднюють атмосферу.

Оксиди азоту  $NO_x$  і сірчистий ангідрид  $SO_2$  є найпоширенішими токсичними сполуками, що викидаються в атмосферу під час спалювання органічного палива в котлах. Рівень викидів  $NO_x$  і  $SO_2$  істотно залежить від виду і складу палива. Так, утворення сірчистого ангідриду  $SO_2$  в димових газах залежить від сірчистості палива, а його валовий викид визначається співвідношенням

$$M_{SO_2} = 20BS^p (1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta''_{SO_2}) \quad (3.6)$$

де  $B$  – витрата палива, кг/с;

$S^p$  – уміст сірки в робочій масі палива, %;

$\eta'_{SO_2}$  і  $\eta''_{SO_2}$  – частки оксидів сірки, що зв'язуються леткою золою і вловлюються у вологому золовловлювачі.

Числові значення  $\eta'_{SO_2}$  варіюються в межах 0,02 – 0,8, а значення  $\eta''_{SO_2}$  дорівнює 0,8 – 0,9.

Валовий викид оксидів азоту визначається співвідношенням

$$M_{NO_x} = BQ_H^p k_{NO_x} \quad (3.7)$$

де  $Q_H^p$  – теплота згорання палива, МДж/кг;

$k_{NO_x}$  – питомий викид оксидів азоту  $NO$  та  $NO_2$  в перерахунку на  $NO_2$ , г/МДж.

Питомі викиди оксидів азоту для всіх азотовмісних палив складаються з паливних і повітряних питомих викидів оксидів азоту:

$$k_{NO_2} = k_{NO_2}^{ПП} + k_{NO_2}^{ПОВ} \quad (3.8)$$

Їхній показник варіюється в діапазоні 0,12 – 0,25 г/МДж.

Значення  $k_{NO_2}$  представлені в табл. 3.3

**Таблиця 3.3 – Норми гранично припустимих концентрацій оксидів азоту в димових газах для котлів на природному газі**

Країна	Джерело викидів	Гранично припустимі викиди			
		рівень NO <sub>x</sub>	Умови визначення		ГПВ NO <sub>x</sub> , якщо O <sub>2</sub> = 3% (α = 1,17)
			O <sub>2</sub> , %,об.	α	
Голландія	Котли ТЕС	200	3	1,17	200
Німеччина	те саме	500	3	1, 17	500
Японія	« »	120 – 200	5	1,31	130 – 200
США	Котли ТЕС	210	6	1,4	250
СНД	Котлоагрегати:				
(D >420 т/год)	1 категорії	390	6	1,4	470
	вищої категорії	350	6	1,4	420

Виходячи з рівня питомого викиду, можна визначити концентрацію оксидів азоту (г/м<sup>3</sup>) за допомогою співвідношення

$$M_{NO_x} = BQ_H^p k_{NO_x} \quad (3.9)$$

де  $V^T$  – об'єм димових газів для коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ , м<sup>3</sup>/кг.

Неабияка міра екологічного ризику під час спалювання органічного палива зумовлює потребу вживати заходів щодо охорони довкілля від шкідливих викидів. Ці заходи мають різноплановий характер і різний ступінь ефективності. Назвімо деякі з них. Отже, знизити NO<sub>x</sub> можна:

- зменшенням коефіцієнта надлишку повітря в пальнику і в первинному повітрі;
- збільшенням рециркуляції газів, зниженням температурного рівня факела;
- зменшенням одиничної потужності пальників, зволіканням з процесом перемішування вторинного повітря і пило повітряної суміші;
- інтенсивним підведенням газів до кореня факела і їхнім перемішуванням з паливо повітряною сумішшю на етапі запалювання речовини.

За наявності відповідних можливостей ефективним засобом є використання екологічно чистого палива (наприклад, краще природний газ, аніж мазут і тверде паливо). Такий метод належить до групи активних методів охорони довкілля.

До пасивних методів слід віднести встановлення обмежень на гранично припустимі викиди (ГПВ) і визначення максимальної висоти димаря, що забезпечує дотримання норм приземних гранично припустимих концентрацій (ГПК) відповідних викидів у населеній місцевості.

Зважимо на те, що встановлення і ГПВ, і ГПК не передбачає єдиного універсального підходу для основних енергетичних країн і регіонів нашої планети (табл. 3.3). Зупинимося на цьому питанні докладніше.

Аби вжити слушних заходів щодо зниження забрудненості повітряного

середовища, конче треба знати, що таке чисте повітря, які вимоги воно має задовольняти, щоб негативно не впливати на здоров'я людини. Такими критеріями є гранично припустимі концентрації (ГПК) і шкідливих речовин у повітрі (див. табл. 3.3, 3.4).

Міра екологічної небезпеки тієї чи тієї шкідливої речовини для живих істот визначається відношенням дійсної концентрації цієї речовини до [ГПК]<sub>i</sub> у повітрі на рівні дихання людини. Це відношення  $k_i = C_i/[ГПК]_i$  називають токсичною кратністю цієї i-ї речовини. Воно має бути менше одиниці. За наявності в повітрі одночасно кількох шкідливих речовин у концентраціях близьких до біологічного впливу на живий організм, отруйний вплив посилюється, а тому наявність таких речовин навіть у концентраціях, близьких до [ГПК]<sub>i</sub>, є неприпустимою. У зв'язку з цим слід підсумувати токсичні кратності таких речовин. Умову екологічної безпеки повітряного середовища визначають зі співвідношення:

$$\sum_{i=1}^n k_i = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{[ГПК]_i} \leq 1, \quad (3.10)$$

де n – кількість токсичних інгредієнтів.

**Таблиця 3.4 – Гранично-припустимі концентрації і показники відносної небезпечності речовин**

Речовина	Максимально разова концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Середньодобова концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Відносна шкідливість
Оксид вуглецю	5	3	1
Вуглеводи (не канцерогенні)	5	1,5	2
Нетоксичний пил	0,5	0,15	20
Оксид азоту	0,4	0,06	50
Діоксид сірки	0,5	0,05	60
Сажа	0,15	0,05	60
Діоксид азоту	0,085	0,04	75
Формальдегід	0,035	0,003	1000
Свинець	–	0,0003	10000
Бенз(а)пірен	–	0,000001	3000000

Ефект спільної посилювальної дії тут виявляють: сажа і канцерогенні вуглеводні; оксиди азоту й канцерогенні вуглеводні; діоксин азоту і формальдегід; оксиди азоту й сірки. Отже вираз (3.10) можна подати в загальному вигляді

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i k_{n-1}}{[ГПК]_i} \leq 1, \quad (3.11)$$

де  $k_{n-1}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення токсичності i-го екологічно шкідливого інгредієнта внаслідок наявності в суміші (n-1) шкідливої речовини одно- або різноспрямованої дії.



### 3.3. Характеристика шкідливих речовин у продуктах згорання палива та їхній вплив на довкілля

Під забрудненням атмосфери розуміють зміну властивостей і погіршення функцій середовища в результаті викидів забруднювальних речовин (твердих, рідких і газоподібних), а також теплових і радіоактивних викидів та електромагнітного випромінювання, шуму, вібрацій тощо з різних джерел. Забруднювальні речовини – це речовини, що негативно впливають на довкілля (прямо або опосередковано в результаті фізико-хімічних перетворень в атмосфері, або ж у поєднанні з іншими речовинами і забруднювачами).

Одночасна дія кількох забруднювальних речовин, особливо однонаправленої дії, істотно підсилює їх негативний вплив на людину. Наприклад, імовірність онкозахворювань стрімко зростає, якщо в організм людини потрапляють канцерогенні речовини разом із сажистими частинками. Останні дані фахівців з комунальної гігієни свідчать, що токсична дія хімічних речовин, які потрапляють в атмосферу, у поєднанні з шумом і вібрацією зростає в 2,5–3 рази. Крім того, унаслідок хімічної взаємодії двох забруднювальних речовин можуть синтезуватися нові шкідливі інгредієнти, значно небезпечніше для людини. У процесі взаємодії канцерогенних вуглеводнів і оксидів азоту синтезуються сполуки, що діють на генний фонд людини.

Паливно-енергетичний комплекс, енергетика, транспорт і промисловість (здебільшого через процеси, пов'язані з горінням) є основними джерелами антропогенного забруднення довкілля. За масштабом дії забруднення може бути локальним, регіональним і глобальним, а ці аспекти щільно пов'язані між собою. Головними забруднювачами насамперед є низькотемпературне тепло, вуглекислий газ, оксиди азоту, сірка, пил, шлак, оксиди сірки, зола та ін.

Розгляньмо основні шкідливі газові викиди з погляду їх впливу на довкілля.

Вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, органічних видів палива, як-то деревини, соломи і біомаси. Це основна компонента, яка спричинює “парниковий ефект”. Унаслідок неповного згорання виділяється також моно оксид вуглецю  $\text{CO}$  – токсичний газ, що завдає довкіллю багато шкоди.

Щорічно в процесі спалювання горючих речовин витрачається близько 10 млрд. т кисню, що перетворюється на еквівалентну кількість  $\text{CO}_2$ . За останні 20 років ХХ ст. концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері зросла на 15%. Молекули  $\text{CO}_2$  добре пропускають короткохвильове ультрафіолетове сонячне випромінювання, але поглинають випромінювання в довгохвильовому інфрачервоному спектрі частот, який є природним регулятором температури на поверхні Землі. Зниження концентрації  $\text{CO}_2$  спричиняє зниження

середньорічної температури планети: якби в атмосфері зовсім не було CO<sub>2</sub>, уся поверхня Землі взялася б кригою, а середньорічна температура не перевищувала б – 10°C.

Протягом мільйонів років існувала природна рівновага вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері, яка сьогодні порушена досить істотно, щонайперше – техногенною діяльністю людства. Окислювально-відновні реакції горіння органічного палива, як мінімум, до середини наступного сторіччя залишаться основою енергетики світу, що швидко розвивається. За цей час уміст CO<sub>2</sub> в атмосфері може зрости ще в декілька разів. Як наслідок, у найближчому майбутньому слід очікувати потеплення клімату Землі. Підраховано, що вже до 2010 р. концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері збільшилася ще на 17%, а це призвело до підвищення середньорічної температури на 0,65°C з усіма можливими несприятливими наслідками.

Проте існує й інший погляд. З початку й до 40-х років ХХ ст. (згідно з даними гідрометеорологічних спостережень) середньорічна температура Землі підвищилася приблизно на 0,7°C, а площа арктичних льодів зменшилася на 10%. Пояснювали це збільшенням концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері, зростанням виробництва та споживання енергії. Втім, за останні 30 років ХХ ст., попри зростання CO<sub>2</sub> вдвічі і збільшення виробництва, і споживання енергії, температура Землі не підвищилася, а знизилася. Гадають, що в міркуваннях про “парниковий ефект” не взято до уваги вплив аерозолів – дрібних твердих частинок і крапель рідини, що перебуває у завислому стані в приземному шарі, тропосфері і стратосфері.

Аерозолі і тверді частинки можуть потрапити в атмосферу вже сформованими (пил, зола, сажа). Значна ж їх частина утворюється безпосередньо в атмосфері в результаті хімічних реакцій між газоподібними, рідкими і твердими речовинами, включно з водяною парою.

Аерозолі утворюються внаслідок природних процесів, хоча неабияка їх частина має антропогенне походження. З 1 – 3 млрд. т/рік часток різного хімічного складу розміром менше 1 мкм, що утворюються над поверхнею Землі, приблизно 20% – результат практичної діяльності людини (пил, насичені речовини, токсичні метали: свинець, ртуть, кадмій та ін.; пестициди). Вуглеводні включають найрізноманітніші органічні сполуки, хімічне перетворення яких у природних умовах розширює число вуглеводневих частинок, небезпечних для біосфери, загалом і людини зокрема.

Аерозолі техногенного походження, подібно до CO<sub>2</sub>, здатні впливати на клімат Землі, але в протилежному напрямку. Тверді частинки розсіюють сонячне світло, а відтак, значна його частина не досягає поверхні Землі. Як наслідок, тепловий баланс змінюється у бік зниження температури. Отже, шкідливі речовини, породжені техногенними процесами, можуть як нагріти (вуглекислий газ), так і охолодити (аерозоль) Землю.

Певну роль у матеріальних балансах процесів горіння твердого й рідкого палива відіграють тверді продукти згорання, зокрема зола. Зольністю

палива називають баласт із розрахунку на суху масу палива. Вона залежить від природи палива і якості його переробки. Розрізняють первинну золу – залишки мінеральних домішок, що входили до складу палива під час його обробки, вторинну золу – сторонні мінеральні речовини, рівномірно розподілені в горючій масі палива, і породу – мінеральні речовини, що потрапили в паливо у процесі його видобутку. Вміст первинної золи в сухій масі палива звичайно не перевищує 1 – 1,5%, породи – 2 – 2,5%. Головними характеристиками золи з погляду її впливу на довкілля є дисперсність, змішуваність, сипучість, щільність, абразивність і електропровідність.

Різноманітні викиди можна класифікувати залежно від розмірів частинок: пил – тверді частинки розміром 1...150 мкм; туман – тверді або рідкі частинки 0,2...1 мкм; дим – частинки 0,001...0,1 мкм; аерозолі – переважно скупчення газоподібних молекул розмірами від сотих часток до десятків мікрометрів.

Діоксид сірки, або сірчистий ангідрид ( $\text{SO}_2$ ) виділяється в результаті спалювання викопних видів палива. Сірчистий ангідрид  $\text{SO}_2$  – один з найтоксичніших газоподібних викидів енергоустановок, становить приблизно 90% викидів сірчистих сполук з димовими газами котлоагрегатів (інші –  $\text{SO}_3$ ). Найбільшу кількість сірки містять вугілля і важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки, і, нарешті, бензин та природний газ практично не мають її у своєму складі.

Діоксид сірки діє на окиснювання, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі – 15–20 діб, за наявності великих кількостей аміаку й інших речовин – кілька годин. У присутності кисню  $\text{SO}_2$  переходить у  $\text{SO}_3$  і, внаслідок взаємодії з водою  $\text{H}_2\text{O}$ , утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються таким способом: як осаді на поверхню літосфери – 43%, на поверхню гідросфери – 13%; поглинається рослинами – 12%, поглинає поверхня гідросфери – 13%. Нагромадження сірковмісних сполук здебільшого відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварин, рослини та різні інші речовини є різноманітним, залежить від їх концентрації та інших чинників довкілля.

Оксиди азоту утворюються під час спалювання будь-якого з викопних видів палив, що містять азотні сполуки. Азот утворює з киснем ряд сполук ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  й  $\text{N}_2\text{O}_5$ ), властивості яких, активність і тривалість існування є різними і слабо залежать від виду та складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту приводять до  $\text{NO}_2$ . Їх концентрація визначається режимом і організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкодять здоров'ю людини, зумовлюють утворення “парникового ефекту” і руйнацію озонового шару. Крім того, оксиди азоту спричиняють “вимирання лісів”, викликають “кислотні дощі”.

Сполуки CFC (Chlorinated Flour Carbons або фреони) належать до окремих невеликих газоподібних домішок в атмосфері. Вони з'являються

переважно внаслідок антропогенної дії (виробництва окремих теплоізоляційних матеріалів, пінопласту), виділяються з холодагентів холодильників і морозилок. Фреони (головні руйнівники озонового шару атмосфери) підвищують рівень ультрафіолетового опромінювання Землі з космосу. Їх наявність в атмосфері сприяє утворенню “парникового ефекту”

Озон ( $O_3$ ) утворюється на великих висотах (приблизно 30 км) від взаємодії кисню  $O_2$  та ультрафіолетового випромінювання Сонця, а також на низьких висотах – у результаті фотохімічних реакцій (зокрема, взаємодії оксидів азоту й гідрокарбонатів). Озон спричинює “парниковий ефект”, негативно впливає на здоров’я людини, культивування рослин та “вимирання лісів”.

Метан ( $CH_4$ ) утворюється внаслідок розкладання органічних речовин, наприклад, у сільському господарстві, у процесі вуглеводобутку, нафто- і газодобування, газорозподілу і спалювання біомаси. Метан також є причиною “парникового ефекту”.

Веселящий газ ( $N_2O$ ) утворюється з натуральних матеріалів у процесі виробництва харчових продуктів та енергії. Деякою мірою зумовлює “парниковий ефект”.

Аміак ( $NH_3$ ) утворюється тільки в сільськогосподарському виробництві. Інтенсифікує та нейтралізує окиснювання. Впливає на порушення балансу примикаючих морів, озер, річок через внесення надмірної кількості добрив (евтрофікації).

### **3.4. Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива**

Як ми вже заважили, у продуктах згорання органічного палива передусім, у димових газах ТЕС, опалювально-виробничих котелень та інших промислових і транспортних об’єктів міститься велика кількість шкідливих для довкілля токсичних речовин. Під час роботи теплоенергетичних установок питомі (табл. 3.5) і валові (табл. 3.6) об’єми цих викидів залежать від типу палива і потужності об’єкта (останнє стосується тільки валових викидів).

Для електроенергетичної галузі, що витрачає понад 20% котельно-пічного палива від загального рівня його споживання, прикметним, є збільшення викидів. Це наочно демонструє табл. 3.7. З неї також видно тенденцію до збільшення складової вугілля і скорочення частки газу й, надто ж, мазуту.

**Таблиця 3.5 – Питомі показники забруднення атмосфери (г/кВт·г) від згорання органічного палива за даними Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (м. Відень)**

Викиди	Вид палива			
	кам'яне вугілля	буре вугілля	Мазут	природний газ
SO <sub>2</sub>	6,0	7,7	7,4	0,002
Оксиди азоту	21,0	3,4	2,4	1,9
Тверді частинки	1,4	2,7	0,7	–
Фтористі сполуки	0,05	1,11	0,004	–

**Таблиця 3.6 – Валові викиди (млн кг/рік) і витрата палива ТЕС потужністю 1000 МВт**

Викиди	Вид та річна витрата палива		
	природний газ (1,9·10 <sup>6</sup> т)	Мазут (1,57·10 <sup>6</sup> т)	Вугілля (2,3·10 <sup>6</sup> т)
SO <sub>x</sub>	0,012	52,7	139,0
NO <sub>x</sub>	12,0	22,0	21,0
CO	Незначне	0,08	0,21
Тверді частинки	0,46	0,73	4,49
Гідрокарбонати	Незначне	0,67	0,52

Примітка. Вміст: у мазуті – Sp = 1,6 %; Ap = 0,05%; у вугіллі – Sp = 3,59%, Ap = 9%;

**Таблиця 3.7 – Структура споживання органічного палива ТЕС за даними Міненерго України**

Роки	Вугілля			Природний газ			Мазут			Усього млн. т у.п.
	Натур. млн. т	млн. т у.п.	%	Натур. млн. т	млн. т у.п.	%	Натур. млн. т	млн. т у.п.	%	
2010	40,9	26,0	33,4	33,7	38,6	49,6	9,7	13,1	16,8	77,7
2015	17,4	17,4	54,2	11,5	13,1	40,9	1,14	1,55	4,8	32,05

Варто ще раз підкреслити, що в тепловій енергетиці України конкуруючими видами палива є вугілля і природний газ, кожний з яких має свої достоїнства й вади.

З технологічного погляду перевага тут на боці природного газу як висококалорійного екологічно чистого палива. Газ легко транспортується, він зручний для застосування в сучасних енергетичних технологіях, як-от, наприклад, парогазові установки з електричним ККД на рівні 52 – 60%. Нагадаємо, проте, що об'єм видобутку газу в Україні (близько 28 млрд. м<sup>3</sup>) задовольняє потребу в ньому лише на 22%. Тому з погляду енергетичної безпеки стратегічною сировиною (паливом) для України залишається вугілля, промислові запаси якого становлять ~26 млрд. т. Це може

задовольнити потребу в ньому нашої країни впродовж кількох сторіч. Попри те, що останнім часом річний видобуток вугілля знизився до 80 млн. т, потенціал вугільної галузі оцінюють приблизно в 100 млн. т./рік. Якість донецького вугілля досить висока:  $Q_{н}^p = 22,2...26,6$  МДж/кг, середня зольність – 22,6%, хоча в процесі видобутку зольність підвищується до 27 – 35%, а теплота згорання зменшується до  $Q_{н}^p = 13,8\div 20,8$  МДж/кг.

Токсичні та шкідливі викиди по-різному впливають на довкілля і мають неоднакові масштаби розсіювання і трансформації в атмосфері (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Розсіювання і трансформація викидів в атмосфері

Речовина	Масштаб трансформації	
	відстань, км	час існування, д
NO	10	1 год.
NO <sub>2</sub>	100	2
SO <sub>2</sub>	100	2
HNO <sub>3</sub>	1000	4
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1000	4
ПАВ	1000	4
CH <sub>4</sub>	У глобальному масштабі	10 років

Залежно від інтегральних особливостей впливу на довкілля всі шкідливі речовини поділяють на 4 класи небезпеки: 1 – надзвичайно небезпечні (бенз(а)пірен – C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>); 2 – високо небезпечні (формальдегід – СНОН, діоксид азоту NO<sub>2</sub>); 3 – помірно небезпечні (сажа С, діоксид сірки SO<sub>2</sub>, оксид азоту NO); 4 – малонебезпечні (аміак – NH<sub>3</sub>, оксид вуглецю СО).

Концентрацію шкідливих речовин в атмосфері нормують відповідним чином. Для цього вводяться ГПК, характерні для кожної речовини, і визначення, що змінюються залежно від умов концентрації.

Розрізняють такі рівні ГПК:

- гранично припустима максимальна разова концентрація (ГПК<sub>м р</sub>) шкідливих речовин у повітрі місцевості, що не викликає протягом 30 хв рефлекторних (спонтаних) реакцій в організмі людини;
- гранично припустима середньодобова концентрація (ГПК<sub>с д</sub>) речовини в повітрі місцевості, що не завдає людині жодної шкоди протягом невизначеного тривалого періоду (роки).

Крім того, для промислових підприємств установлюють ГПК робочої зони (ГПК<sub>р з</sub>).

Усі граничноприпустимі концентрації встановлюються на рівні дихання людини.

Для характеристики токсичності використовують показник токсичності

$$A_i = \alpha_i \cdot \delta_i \cdot a_i \quad (3.12)$$

де  $\alpha_i$  – імовірність нагромадження;

$\delta_i$  – показник впливу на різні об'єкти (окрім людини);

$$a_i - \text{показник відносної небезпеки (порівняно із СО) визначають як} \\ a_i = \left\{ \frac{\text{ГПКс д.} \cdot \text{ГПК р з.}}{\text{ГПКс д.} \cdot \text{ГПКр зі.}} \right\}^{0.5} \quad (3.13)$$

Характеристики токсичних речовин, які можуть входити до складу продуктів згорання теплоенергетичних установок, передовсім ТЕС, наведені в табл. 3.6, 3.8. Вплив кожної з токсичних речовин визначається рівнем її концентрації в повітрі. Так, якщо концентрація NO<sub>2</sub> у повітрі на рівні 150 частинок на мільйон (ppm) або 300 мг/м<sup>3</sup>, то можливі серйозні захворювання дихальних шляхів людини аж до її загибелі; на рівні 50 – 100 ppm – небезпечні захворювання на бронхіт або запалення легенів; на рівні 5 ppm (10 мг/м<sup>3</sup>) – шкідливо для здоров'я людини.

Як уже відзначено, крім нормування ГПК на рівні дихання людини існує нормування на рівні припустимих викидів (ГПВ). Наприклад, для димових газів ТЕС та інших енергетичних і промислових об'єктів ГПВ шкідливих речовин установлюють відповідність стану повітряного середовища населених місцевостей гігієнічним нормативам у найнесприятливіших метеорологічних умовах.

Для котлоагрегатів норми ГПК оксидів азоту NO<sub>x</sub> у країнах СНД установлюють, виходячи з концентрації кисню в димових газах на рівні 6%; і вони залежать від категорії котлоагрегатів і типу палива (табл. 3.9).

**Таблиця 3.9 – Норми ГПВ (NO<sub>x</sub>, мг/м<sup>3</sup>) для котлоагрегатів**

Вид палива	Котли 1-ї категорії		Котли вищої категорії	
	Парова потужність, т/год.			
	≤420	>420	≤420	>420
Природний газ	320	390	300	350
Мазут	340	440	300	350
Буре вугілля і сланці	550	550	500	500
Кам'яне вугілля	600	750	500	500
Торф	790	890	650	700

Для газотурбінних установок (ГТУ) сучасні норми ГПК NO<sub>x</sub> у країнах СНД становлять 150 мг/м<sup>3</sup> у димових газах (уміст у них кисню на рівні 25%).

Таким чином, норми гранично припустимих концентрацій є важливою характеристикою контролю над рівнем забруднень. Вони відрізняються для різних країн і регіонів як установленим рівнем ГПК, так і періодом спостереження за відповідними концентраціями (табл. 3.10).

**Таблиця 3.10 – Гранично-припустимі концентрації токсичних газів в атмосфері**

Компонента	Країна	Розмірність	Концентрація залежно від періоду спостережень			
			середньо-годинна	середньо-добова	середньо-місячна	середньо-річна
	Японія	ppm*	–	0,04		
	США	ppm	–	0,14		0,03
	Німеччина	ppm	–	–	–	0,05
Діоксид сірки	Канада	ppm	–	0,06	–	–
SO <sub>2</sub>	Швеція	ppm	–	0,25	–	–
	Італія	ppm	–	0,15	–	
	Корея	ppm	0,15	–	–	
	СНД	мг/м <sup>3</sup>	–	–	0,05	
	Японія	ppm	–	0,04 – 0,06	–	0,02 – 0,03
	США	ppm	–	–	–	0,05
Оксид азоту	Німеччина	ppm	–	–	–	0,05
NO <sub>2</sub>	Канада	ppm	–	0,1	–	–
	Фінляндія	ppm	–	0,1	–	–
	СНД	мг/м <sup>3</sup>	–	–	0,04	

\*ppm – part pro million (частина на мільйон за обсягом)

### Запитання і завдання для самоперевірки

1. Яка роль органічного палива в екології навколишнього середовища?
2. Які якісні характеристики органічних палив в Україні?
3. Які закономірності утворення екологічно-шкідливих речовин під час горіння?
4. Показати гранично припустимі концентрації оксидів азоту в котлах.
5. Які характеристики шкідливих речовин у продуктах горіння?



## РОЗДІЛ 4

### АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА

#### 4.1. Відновлювані джерела енергії

Відновлювані джерела енергії – це випромінювання Сонця, рослинна біомаса, морські припливи, вітер і річки. Енергія рослинної біомаси, вітру та річок спричинена дією сонячної енергії. Всі відновлювані джерела енергії дотепер використовують незначною мірою, хоча їхні запаси практично невичерпні (табл. 4.1).

Сонце – невичерпне джерело, яке випромінює на Землю енергію в кількості, що набагато перевищує потребу в ній і тепер, і навіть у найвіддаленішому майбутньому. Людству відомі способи одержання цієї енергії. Якщо говорити про розподіл променистої енергії Сонця, то тепловий баланс має приблизно такий вигляд: ~7 % – відбиває атмосфера Землі, ~27 % – відбивають хмари; з енергії, що поступила на Землю: ~2,5 % – перетворюється на енергію вітру, ~0,05 % – обертається на енергію морських течій, ~33 % – падає на поверхню океану, ~25 % – падає на сушу, ~7 % – відбивається Землею, ~0,12 % – засвоюється рослинами.

Таблиця 4.1. – Потенційні запаси енергії на Землі

Джерело енергії	Запас енергії, кВт·г
Не відновлювані:	
термоядерна енергія	$100000000 \cdot 10^{12}$
ядерна енергія	$574000 \cdot 10^{12}$
енергія викопного палива	$55364 \cdot 10^{12}$
Відновлювані:	
енергія сонячного проміння	$667800 \cdot 10^{12}$
енергія морів та океанів	$70000 \cdot 10^{12}$
енергія вітру	$17360 \cdot 10^{12}$
енергія внутрішнього тепла Землі	$134 \cdot 10^{12}$
енергія річок	$18 \cdot 10^{12}$

Щорічний приріст зеленої біомаси на Землі становить 117 млрд. т у сухому вигляді, що енергетично дорівнює 40 млрд. т нафти. Загальна ж кількість рослинної біомаси на планеті перевищує 1 800 млрд. т, що еквівалентно 640 млрд. т нафти. Ясна річ, як паливо може розглядатися тільки частина щорічного приросту, яку можна виділити для цього ланцюга.

Енергія морських припливів є значною, а відтак, будівництво припливних станцій видається перспективним, дарма що воно складне, дороге і не виключає непередбачуваних екологічних наслідків.

Енергія вітру менша, але все-таки велика, вона заслуговує на серйозну

увагу, проте непостійна в часі, і це утрудняє її використання.

Енергія річок є відносно помірною, її вже використовують значною мірою, причому як для рівнинних річок – з негативними наслідками, котрі свідчать про потребу в надзвичайно обачному ставленні до механізмів екології.

Можливість користатися з внутрішньої теплоти Землі має локальне значення: утилізують лише теплоту гарячих підземних вод.

Безумовно, надалі конче слід орієнтуватися на одержання енергії з відновлюваних джерел. У цьому плані цікавими видаються перспективи енергетики з позиції теоретичної фізики.

Енергетичні процеси пов'язані з перетворенням силових полів. Таких полів є три: мезонне, що цементує атом (найпотужніше); гравітаційне; електромагнітне в різних формах, зокрема у вигляді електричної енергії. Науковці припускають, що ці поля – різні прояви єдиного поля. Теорію єдиного поля намагалися створити найбільші учені світу – О. Гевісайд, А. Ейнштейн, І. Е. Тамм, але поки що безуспішно. Наявність такої теорії дала б змогу розробити нові, досконаліші способи одержання електричної енергії через перетворення на неї мезонного і гравітаційного полів, а тим паче – електромагнітного. Нині цю проблему розв'язують кружним і складним шляхом. Так, на гідростанціях гравітаційне поле води верхнього б'єфу перетворюється на електроенергію за допомогою гідрогенераторів. Система перетворення мезонного поля в електроенергію на атомних станціях ще складніша: реактор – пара – турбогенератор. Не менш складним є перетворення електромагнітного поля сонячного випромінювання, що має світлову частоту, в електромагнітне поле електричного струму на сонячних електростанціях перетворення, здійснюване за теплотехнічним способом (сонячний котел – пара – турбогенератор). По суті, всі ці схеми надзвичайно громіздкі, як і схеми, що на них базуються енергетичні установки, де відбувається спалювання горючих речовин. Як протилежний приклад можна назвати тільки сонячну батарею, що перетворює випромінювання Сонця безпосередньо в електроенергію.

Сонячне випромінювання на Землю – невичерпне джерело величезної кількості енергії – є екологічно нейтральним, оскільки процес його використання не спричиняє шкідливих викидів і майже не викликає додаткового нагрівання Землі. Остання заввага є надто важлива, адже Земля як термодинамічна система перебуває у вкрай нестійкій рівновазі.

Ще в самому розпалі атомного буму найвидатніший фізик ХХ ст. Ф. Жоліо-Кюрі казав таке: “Розв'язання проблеми використання сонячної енергії для людства важить більше, ніж підкорення енергії атома”. Цю енергію одержують у такі способи: теплохімічним (нагрівання теплоносіїв), фотоелектричним (використання сонячних батарей), біологічним (фотосинтез рослин) з переходом у біотехнологічний при поєднанні з водневою енергетикою. Основне значення мають фотоелектричний і біотехнологічний способи.

Теплотехнічний спосіб застосовують (досить рідко) для одержання теплоти. Якщо електроенергію виробляють за допомогою турбогенераторів, він є нераціональним. фотоелектричний спосіб колись був надто дорогим. Донедавна фотоелектричні сонячні батареї внаслідок своєї високої вартості застосовувалися лише в окремих випадках, наприклад у космонавтиці, і мали доволі невелику потужність, вимірювану сотнями ватів; проте завдяки розробці нових способів одержання кремнієвих сонячних елементів їх вартість швидко знижується.

Відтак, доречними постають два напрями: застосування порівняно дешевих фотоелементів з невисоким ККД і створення дорожчих, але й ефективніших. Завдання полягає в тому, щоб зробити сонячні електростанції економічно вигідними порівняно з іншими, наприклад з АЕС. Вирішення цього завдання вимагає зліквідувати розрив між науковими й інженерними розробками. Вочевидь, уже до кінця нинішнього століття геліоенергетика відіграватиме поважну роль, а до середини наступного матиме більше значення, ніж гідроенергетика.

Біологічний (біотехнологічний) спосіб ґрунтовано на фотосинтезі. Процес фотосинтезу рослин має неабияке значення для життя на планеті, оскільки з його допомогою неорганічні речовини переробляються в органічні, харчові, за рахунок енергії Сонця. Крім того, рослини забезпечують планету киснем. Для деяких країн фотосинтез може стати переважним способом одержання енергії. Ось як, наприклад, уявляють майбутній енергетичний баланс Швеції – маленької індустріальної країни, багатой на ліси, з розвиненою деревообробною промисловістю. До 2015 р. заплановано таку структуру енергетичного балансу: лісова біомаса – 46%; сонячне опалювання (одержання теплоти) – 13%; енергія гірських річок (ГЕС) – 12%; деревні відходи – 12%; сонячне світло (виробництво електроенергії) – 9%; вітер – 5%; морська біомаса – 3%; нафта, газ, вугілля, ядерна енергія – 0.

Лісова біомаса – це посадки (спеціально для енергетичних цілей) швидкорослих дерев з деревиною, що має достатньо високу теплоту згорання (тополя). Щорічно використовують декілька відсотків масиву посадок з подальшим засівом площі вирубки. Шкідливість продуктів згорання деревини мінімальна, зола – відмінне добриво. Звичайно, для великої промислово розвиненої держави таке рішення не придатне.

У країнах, що розвиваються, біомаса рослин (дрова, сільськогосподарські відходи) задовольняє потребу в енергії наполовину, в розвинених країнах ця частка невелика, але за абсолютним значенням щорічно в Європі біомаса заміщає ~100 млн. т нафти. Рідке паливо, що заміняє нафту, можна одержати біотехнологічним шляхом з деяких тропічних рослин, створивши спеціальні нафтові плантації. Таким чином, рослини можуть слугувати багатющим джерелом не тільки харчової та технологічної, а й енергетичної сировини.

Біотехнологічний спосіб і воднева енергетика нині теж є досить

вагомими. Водень – екологічно чисте паливо, яке можна зберігати і транспортувати трубами, воно цінне і для технологічних процесів, і для автотранспорту. У процесі згорання водень перетворюється на воду, не виділяючи жодних шкідливих речовин.

Заслуговує на увагу біофотоліз води – використання механізмів фотосинтезу для її розкладання під впливом сонячного світла з метою дістати водень і кисень у вільному стані. Для здійснення цього процесу застосовують біохімічну систему, засновану на взаємодії двох мікроорганізмів: мікроскопічної водорості й термостійкої ціанобактерії, наділеної особливими властивостями. Клітини водоростей під впливом світла виробляють у процесі фотосинтезу органічні вуглецеві сполуки і вільний кисень. Фоторозкладання води, що відбувається, забезпечує постійне виділення кисню та водню. Таким чином сонячна енергія прямо перетворюється в паливо і, як наслідок, виникає перспектива створення нової галузі енергетики (біотехнологічної), що забезпечує одержання молекулярного водню як високоякісного та екологічно чистого палива.

Можливим є процес розкладання води на водень і кисень під дією видимого сонячного світла, однак він потребує відповідних каталізаторів. Водень можна діставати завдяки електролізу води за умови великої кількості електричної енергії в майбутньому, а нині – за рахунок енергії АЕС у години, коли електричне навантаження зменшується, тобто вночі.

Із запропонованого в попередніх розділах аналізу базових енергетичних об'єктів та екологічних аспектів їхнього застосування можна дійти певного висновку.

У складній системі “біосфера – техносфера” потрібні серйозні зміни, передовсім у напрямку розвитку енергетики. Отже, щонайперше слід відмовитися від усталених стереотипів енерговитратного способу життя, провести серйозну екологізацію всіх галузей енергетики, перейти на альтернативні, нетрадиційні, екологічно безпечні джерела енергії з поступовим нарощуванням їхньої потужності. Підходи, наявні сьогодні в сфері енергетики, є нестійкими, екологічно небезпечними, властиві їй поточні моделі й далі зумовлюють підвищення рівня нестабільності і, отже, не є інструментом для досягнення стійкого розвитку. Проте найголовнішим є те, що практично повне забезпечення електричною енергією, зокрема в країнах ЄС, ґрунтується на використанні тихтаки традиційних невідновлюваних енергоносіїв: органічного палива, атомної енергії та гідроенергії (рис. 4.1).

Європейське Співтовариство не є однаковим з погляду енергопостачання: наскільки розходиться кількість щорічно вироблюваної електроенергії в кожній державі-учасниці, настільки ж відрізняється й роль окремих енергоносіїв у цих країнах.

У ХХІ ст. всі спроби розв'язати соціально-економічні та екологічні проблеми, питання безпеки і миру немислимі без урахування енергетичних аспектів, особливо – зміни стратегії й тактики в сфері енергетики. Одна з

таких стійких і перспективних стратегій – використання нетрадиційних енергоресурсів: енергії Сонця, вітру, біомаси, малих річок, геотермальних припливів і відпливів, застосування генераторного газу, газів малих газових, газоконденсатних і нафто газоконденсатних родовищ, попутного нафтового газу, метану вугільних родовищ, спиртних сумішей, водоналивних суспензій, емульсій та ін.

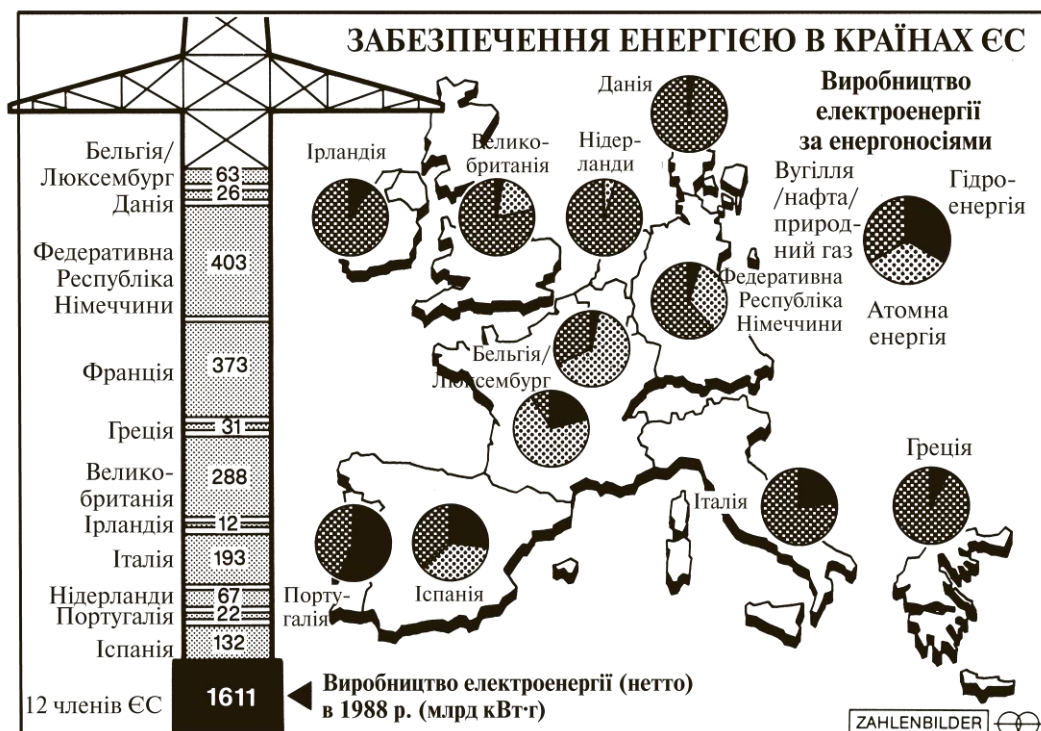


Рис.4.1 – Забезпечення електроенергією в країнах ЄС

Перспективи використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Установлена потужність електростанцій, що використовують нетрадиційні й відновлювані джерела енергії, дорівнює 33 млн. кВт. Це становить 1,04 % від загальної встановленої потужності всіх електростанцій у світі (3 180 млн. кВт). У США частка таких електростанцій становить 2,32 %, у Бразилії – 3,0, в Данії – 7,7, Німеччині – 2,8, Італії – 1,2, Іспанії – 2,2, Індії – 1,0, Японії – 0,4 і на Філіппінах – 17% від загальної встановленої потужності.

В Україні для виробництва електроенергії з відновлюваних джерел використовують тільки енергію вітру. За станом на початок 2000 р. встановлена потужність вітроенергетичних електростанцій (ВЕС) дорівнює 12,5 МВт; у 2010 р. вони виробили 3,83 млн. кВт·г. Коефіцієнт використання встановленої потужності становив 0,031 при проектному коефіцієнті 0,19. Окрім цього, було споруджено і введено в експлуатацію Акташську ВЕС (0,6 МВт), Чорноморську ВЕС (0,6 МВт), другу чергу Новоазовської ВЕС (1,6 МВт) і ряд вітроенергетичних електростанцій малої потужності (25 – 45 кВт).

У Вінницькій, Одеській та інших областях України застосовують

сонячну енергію, біомасу та інші види енергії для підігрівання води, використовуваної для обігріву приміщень. Застосування геотермальної енергії у виробництві електроенергії взагалі має експериментальний характер (установка 5 МВт у Берегівському районі Закарпатської обл.).

З нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії в Україні у виробництві електроенергії можна використовувати: енергію вітру, геотермальну енергію, коксовий, доменний, некондиційний природний газ. Аналіз ресурсної бази цих видів енергії, а також досвід зарубіжних країн дають підставу твердити, що встановлена потужність електростанцій, які використовують ці ресурси, становитиме 2,5 – 3,0% від загальної потужності електростанцій України.

Нижче наведено дані про прогнозовану встановлену потужність, виробництво електроенергії та заощадження палива, що їх можна досягнути, послуговуючись нетрадиційними і відновлюваними джерелами енергії (табл. 4.2).

*Таблиця 4.2. – Потенціал альтернативної енергетики України*

<b>Показник</b>	<b>2020 р.</b>	<b>2030 р.</b>	<b>2040 р.</b>	<b>2050 р.</b>
Установлена потужність, млн. кВт	1,6 – 1,7	1,8 – 1,9	1,9 – 2,0	1,9 – 2,1
Вироблення електроенергії, млрд. кВт·г	6,4 – 6,8	7,2 – 7,6	7,6 – 8,0	7,6 – 8,4
Економія палива, млн. т в умовному численні	2,6 – 2,72	2,88 – 3,04	3,04 – 3,2	3,04 – 3,26

Прогнози, зроблені цілою низкою світових лідерів промисловості, наприклад таких, як znana компанія «Шелл інтернешнл петролеум», свідчать про те, що під 2025 р. у світі панівне значення матиме енергетика, побудована на альтернативних, відновлюваних джерелах, щонайперше на сонячній енергії.

#### **4.2. Геліоенергетика**

Сонце – центральне тіло Сонячної системи, розжарена плазмова куля, типова зірка-карлик. Його маса дорівнює  $2 \cdot 10^{30}$  кг, радіус – 696000 км, середня густина –  $1,41 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, ефективна температура поверхні (фотосфери) – близько 6000°К. Хімічний склад: водень – 90%, гелій – 10%. Температура всередині Сонця (центральна частина) становить понад 10 млн. градусів за шкалою Кельвіна. Вона є такою великою, що вможливує синтез водню і гелію, унаслідок чого вивільняється енергія у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить до поверхні світила. Енергія, що доходить до Землі, формується в межах тонкого поверхневого шару Сонця (фотосфери). Вважають, що Сонце виділятиме енергію ще впродовж близько 2000 млрд. років. Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця

поширюється в космічному просторі зі швидкістю 300 000 км/с у вигляді променів, що розходяться. Земля дістає трохи не 2 мільярдні частки від загального випромінювання Сонця. Загальна кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік, у 50 разів перевищує всю енергію, яку можна було б одержати з усіх відомих запасів викопного палива і приблизно в 30 000 разів перевершує нинішнє щорічне споживання енергії у світі. Потужність сонячного потоку енергії становить 41023 кВт.

З давніх-давен люди прагнули навчитися використовувати сонячну енергію, про що свідчать стародавні літописи і книги єгиптян, греків, римлян.

Великий італійський художник і винахідник Леонардо да Вінчі 1515 р. склав один з найперших планів застосування енергії Сонця в промисловості (малюнки гігантського дзеркала “для поставки тепла для будь-якого бойлера на фарбувальній фабриці”). Проте першим винахідником концентрації сонячного світла вважають Архімеда (212 р. до н. е.), хоча це не доведено. Наприкінці XVIII ст. французький хімік Антуан Лавуазьє винайшов сонячну піч, у якій можна було плавити платину за температури 1780°C. Перший у світі сонячний колектор створено швейцарським ученим Горацієм де Соссюром (1767 р.).

У США розвиток сонячної енергетики почався після Громадянської війни (з 1880-х роках.) завдяки роботам інженера Джона Еріксона. Під 2000 р. у США в самому лише штаті Каліфорнія (пустеля Моява) один з найбільших у світі комплексів сонячних батарей, розміщений на площі близько 750 га, виробляє понад 400 МВт електроенергії, що є достатнім для забезпечення нею майже 18 000 будинків.

У Європі найбільша геліостанція споруджена на Мозелі. Тут понад 300 тис. сонячних елементів сполучене у 8 тис. модулів, що на першому щаблі дають потужність 340 кВт. У Німеччині нині виробляють понад 100 МВт електроенергії за рахунок Сонця. Активно розвивається використання сонячної енергії в Іспанії, Італії, Франції. Припускають, що до середини XXI ст. у розвинених країнах Європи частка сонячної енергії в загальному об’ємі енергії, що виробляється, становитиме 10...20%. Провідними фірмами світу, які виробляють сонячні колектори, батареї й елементи («Сименс Соляр», «Луз», АЕГ, «Телефункенсистем-технік» та ін.), було розроблені й усе ширше реалізуються батареї з ККД 12 – 20% (у перспективі – 30%) різних розмірів і потужностей. Їх можна застосовувати у виготовленні будь-якого енергетичного обладнання – від мініатюрних сонячних електростанцій з портфель завбільшки, використовуваних в умовах, де не можна одержати струм через мережу, до потужних комплексів, що живлять промисловість, і установок, що живлять космічні апарати, зонди, станції, а також до невеликих наземних геліокомплексів, які живлять домівки, теплиці, автомобілі. 1961 року в Японії, за даними ООН, уже діяло близько 350 тис. сонячних водонагрівачів, у США (у Флориді й Каліфорнії) – близько 150 тис. установок.

У СНД витрати на виробництво побутового геліообладнання є

нижчими, ніж у країнах Заходу, тому сонячну енергетику тут вважають перспективною. Дехто припускає, що потенційно застосовними в СНД будуть три технології:

- сонячні колектори для забезпечення будинків гарячою водою;
- сонячні фотоелектричні батареї (особливо в сільській місцевості);
- сонячні теплові електростанції (у далекому майбутньому).

#### **4.2.1. Перетворення сонячної енергії на теплову**

Теплову енергію Сонця через пряме нагрівання (будинки, теплиці, водні резервуари та ємкості) використовують двома методами: пасивним й активним. Пасивна система геліопідігріву вловлює сонячне світло прямо всередині приміщень і трансформує його в низькотемпературне тепло для обігрівання простору. Енергоефективні вікна, оранжереї, сонцезловлювальні поверхні розташовують у максимально вигідному відносно сонця положенні. Стіни, підлогу, стелі виготовляють із добрих теплоізоляційних матеріалів (перероблених відходів, автомобільних шин, пористих бетонів, шлаків та ін.). Удосконалюються технології й підвищується ефективність використання пасивної системи геліообігріву.

Дехто припускає, що в майбутньому близько 70 % приватних будинків і майже 60% комерційних будівель застосовуватимуть саме таку систему обігріву. До кінця 90-х років ХХ ст. в Північній Америці налічували десь 250 000 будинків з повним сонячним обігрівом і понад 1 млн. споруд, які використовують тепло частково. Обладнання будинків геліоустановками пасивного типу здорожує будівництво лише на 5 – 10%, зате експлуатація споруд обходиться на 30 – 40% дешевше, а окупність становить 3–7 років (рис. 4.2).

Фотоелектричні (сонячні) батареї можуть забезпечувати будинки електрикою. Малі на розмір і легко розтяжні панелі здатні без великих електростанцій або силових кабелів виробляти електрику для селищ міського типу у всьому світі. Масивні комплекти таких батарей можуть виробляти стільки електрики, скільки виробляє мала електростанція. Сьогодні принаймні дві дюжини компаній США використовують у своїй роботі фотоелектричні панелі. 1990 р. у Флориді почали продавати будівлі, які електрифіковано за рахунок установлених на їхніх дахах сонячних батарей. Хоча системи сонячних батарей становлять близько третини від вартості кожного будинку, вони окупаються коштом оплати за електрику. Нова технологія дає змогу вбудовувати сонячні батареї в покрівельний матеріал дахів.

Стіни Трома – сонячні колектори, що є частиною самого будинку. Це велика панель із вікнами, зверненими на південь. Чималі вікна пропускають сонячне проміння, що потрапляє на розташовану на незначній відстані від вікон бетонну стіну, забарвлену в чорний колір. За стіною – житлові приміщення будинку. Стіна сильно нагрівається, нагріваючи й повітряний простір навколо, через отвори у верхній частині чорної стіни тепле повітря



надходить у житлові приміщення, сама стіна також тривалий час зберігає тепло завдяки щільній бетонній структурі. Цей пристрій має великі перспективи.

Системи активного геліообігріву – то є спеціально сконструйовані колектори-поглиначі сонячної енергії в комплекті з насосом або феном, що розгонить тепло по трубах і батареях внутрішнього парового опалення. Декілька з'єднаних колекторів, виготовлених із металевих труб, укладені в ящики зі скляним або прозорим пластмасовим покриттям зверху (зверненим до сонця), розташовано на даху в місці з максимальною освітленістю.

Частина тепла може бути використана безпосередньо, інша – накопичена в теплоізольованих ємкостях, що містять воду, щебінь або теплопоглинальні хімічні речовини. Потім у разі потреби нагромадженою енергією можна буде скористатися. Активні сонячні колектори можуть бути використані і для розігрівання води в баку всередині будинку з подальшим розподілом гарячої води по трубах опалення в приміщеннях. На Кіпрі та в Йорданії системами активного геліообігріву забезпечено 25 – 65% будинків.

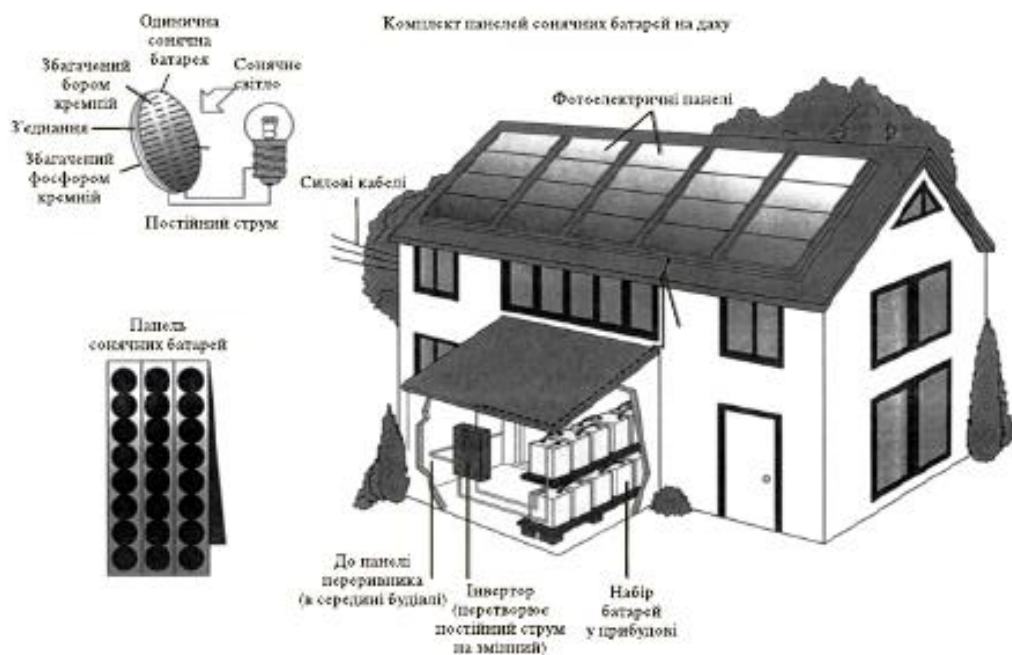


Рис. 4.2 – Фотоелектричні (сонячні) батареї

Близько 12% будинків Японії, 37% Австралії та 83% Ізраїлю також використовують цю систему. У наш час вартість систем активного геліообігріву занадто висока (в серед ньому близько 3,5 – 3 тис. дол. США) для більшості населення – власників будинків. Незважаючи на це, сотні тисяч будинків у США забезпечено такими системами. Розробляються системи вартістю не більш як 700 дол., і вони мають привабливіший вигляд, не псують зовнішню красу будинків.

Бажання населення купувати геліоустановки в багатьох країнах (США,

Канада та ін.) стимулюється урядом, який вводить спеціальні податкові пільги, пільгові кредити. Це – взірць практичної турботи про довкілля.

Значні досягнення в розробці низькотемпературних недорогих сонячних колекторів має й Україна. У Дніпропетровську агентство “Циклон-А” 1998 р. спроектувало й випробувало ефективний вакуумний геліоколектор, здатний цілорічно функціонувати в умовах будь-якого району України й навіть північніше, у температурному діапазоні від – 60 до + 100°С. Можлива вартість колектора за серійного виробництва (близько 1 000 штук на рік) еквівалентна 60 дол. США. Термін експлуатації геліоколектора теоретично необмежений, практично – понад 20 років.

Високотемпературні геліосистеми – це такі ефективні нагромаджувачі й перетворювачі сонячної радіації, які виробляють високотемпературне тепло (0,32 – 3 тис. градусів і більше) та входять у систему з парогенераторами й електродвигунами. Є декілька типів високотемпературних сонячних систем: сонячні енергетичні (силові) вежі, сонячні термальні станції, сонячні печі, сонячні куховарки, оптичні сонячні концентратори тощо.

У деяких системах сотні тисяч дзеркал, контрольовані й регульовані комп’ютерами (геліостати), уловлюють і сфокусовано відбивають сонячне проміння на розташовану в центрі вежу – нагромаджувач тепла (рис. 4.3).

Нині станції а), б) і в) використовують здебільшого для того, щоб забезпечити надійність роботи за денних пікових рівнів електричного навантаження, особливо в сонячних районах.

В інших системах сонячна енергія збирається і фокусується на трубах, наповнених нафтою і вміщених посередині увігнутих сонячних колекторів. Концентроване в цих системах сонячне світло генерує надзвичайно високі температури, що їх можна використати в промисловому виробництві для одержання пари, яка обертає турбіни й відтак виробляє електроенергію. Великі надії покладають на оптичний геліоконцентратор, у якому сонячне проміння не фокусується на певних точках, а сканується. Такий концентратор здатний у 80 000 разів підсилити сонячне світло, що досягає поверхні Землі, а це дає змогу виробляти водень для палива, опріснювати воду, очищати вугілля, перетворювати токсичні відходи на менш токсичні.

Найбільшою енергетичною сонячною вежею є «Солар-1» (США, Каліфорнія, пустеля Мохаве), де геліоагрегати розташовані на 52 га. З 1982 р. вона дає 10 МВт електроенергії, її будівництво коштувало 140 млн. дол. США, що 20 років тому було майже в 10 разів дорожчим за вартість традиційної енергії. Вежа й досі працює.

Більшість подібних сонячних електростанцій працює за таким принципом: поле дзеркал-геліостатів “стежить” за сонцем і відбиває його проміння на приймач-ресивер, установлений на високій вижі. Ресивер – це сонячний котел, у якому виробляється водяна пара середніх параметрів, і ця пара потім прямує в парову турбіну.

За робоче тіло в колекторах править вода, а в зимовий період – водно-спиртовий розчин. Ефективність використання проміння, що падає на

приймач, становить 20...35%, вироблена електроенергія – 10...30% ефективного падаючого випромінювання. Принципова схема такої установки наведена на рис. 4.4.

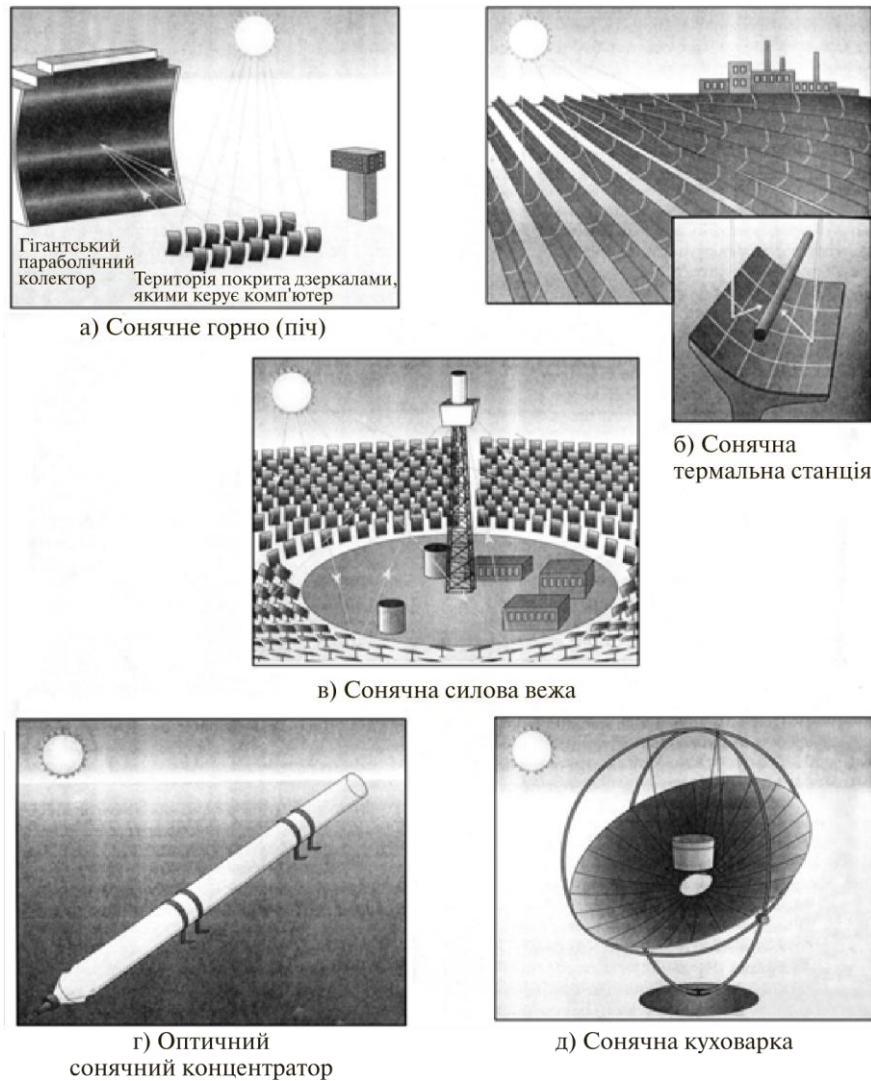


Рис.4.3 – Використовувані методи одержання й концентрації сонячної енергії для виробництва високотемпературного тепла та електрики

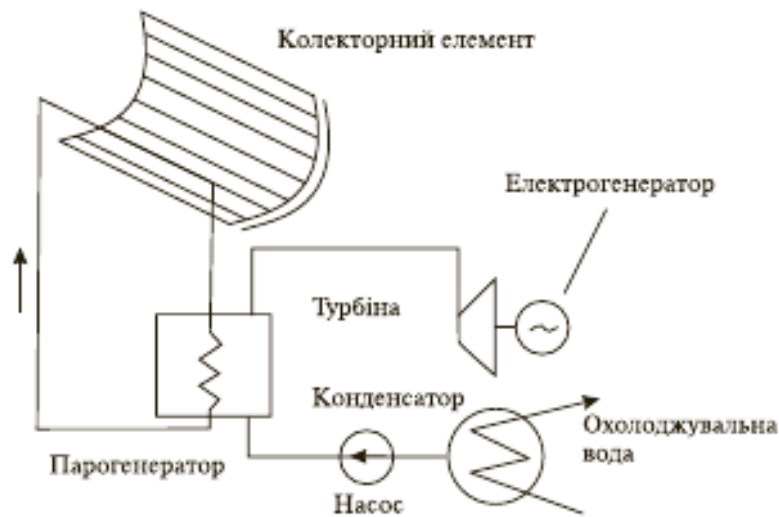


Рис. 4.4 – Принципова схема паросилової сонячної електростанції

Тепер розроблено проекти геліовеж на 12 і на 100 МВт (США); вони коштують значно менше, ніж «Солар-1», і є перспектива подальшого їх здешевлення (Компанія «Сазен Каліфорнія Едісон» та ін.). Геліоенергетичні вежі побудовані також в Іспанії (Альмерія), на Сицилії (Адрано), у Франції (Телнес), у Японії (Ніо Таун), але вони є трохи меншими за «Солар-1».

Також поширилося будівництво геліостанцій (Каліфорнія, м. Уорнер Спрингс, станція «Солар Планта-1»). Тут замість дзеркал використовують пластмасову плівку, покриту металом і туго натягнуту на півтораметрові алюмінієві обручі. Вакуум-насос надає плівці потрібну кривизну. Вежі немає, кожену групу дзеркал сфокусовано на свій окремий колектор, наповнений водою з сіллю. Колектори з'єднані між собою трубами, якими водяна пара прямує в турбогенератор. Вартість геліостанції є значно меншою, ніж вартість геліовежі, та практично дорівнює вартості енергії, одержуваній від спалювання вугілля або нафти.

#### 4.2.2. Пряме перетворення сонячної енергії на електричну

Сонячне світло може бути перетворено безпосередньо на електрику за допомогою фотовольтажних елементів (осередків), що їх, як правило, називають сонячними елементами. За основу сонячних елементів слугують пристрої, виготовлені з кремнію й названі напівпровідниковими приладами. Саме вони зробили революцію у виробництві комп'ютерів.

Сонячний елемент (система) – це дві тонкі пластинки кристалічного кремнію (монокристалічні або полікристалічні), з'єднані між собою (як два прозорі аркуші паперу). Сонячне світло, падаючи на верхню пластину, вибиває з кристала кремнію електрони, посилаючи їх в іншу пластинку. При цьому утворюється постійний електричний струм, який конче треба перетворювати на змінний. В окремій пластинці струм буває досить малої потужності, тому велику кількість пластинок об'єднують у панелі, що виробляють 30 – 100 Вт. Потім кілька панелей з'єднують кабелями в блоки,

які встановлюють на дахах, підставках або полицях, де сонячного світла щонайбільше. Перевагою сонячних елементів (батареї, станції) є їхня безшумність, невичерпність джерела енергії, брак рухомих деталей, бездефіцитність матеріалів, з яких вони виготовляються (кремній, скло, пластик та ін.), простота і швидкість установа, обслуговування, заміни, розширення (збільшення кількості блоків), простота догляду. Скільки завгодно сонячних елементів можна встановити в пустелях, на околицях міст, уздовж автотрас і залізниць, уздовж трубопроводів, на дахах тощо. Їх можна використовувати на невеликих енергетичних станціях (для електроживлення водопідіймальних насосів, телекомунікаційних систем, катодного захисту трубопроводів, у домашньому господарстві та ін.), комбінуючи виробництво електрики в сонячні дні – за допомогою геліоблоків, а в надто похмурий час – за допомогою газових турбін. Сонячні батареї практично не забруднюють довкілля, не порушують землю, можуть працювати і в хмарні дні. Їхню ефективність (ККД) уже порівнюють до ефективності АЕС і ТЕЦ.

Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, становить 50...250 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях (рис. 4.5) сонячні батареї використовують у процесі складання фотоелектричних генераторів. Термін служби такої станції – 20...30 років, експлуатаційні витрати є мінімальними.



Рис. 4.5 – Схема сонячної фотоелектричної установки

Єдиною вадою сонячних батарей поки що залишається їх порівняно висока вартість (8 – 12 центів за кВт·г), але багато компаній ведуть роботи зі здешевлення вартості виготовлення сонячних елементів. Одна німецька компанія успішно випробувала геліоелектричне вікно, інші ж розробляють технології установки сонячних елементів на фасадах будівель і спо руд. Комплекси сонячних елементів – ідеальна технологія для електрифікації сільських місцевостей. В Індії сонячні батареї встановлено в 38 000 сіл, у Зімбабве – у 2 500 сіл. На дахах будинків у Південній Африці, Шрі-Ланці, Домініканській Республіці та інших слаборозвинених країнах встановлено понад 200 000 комплексів сонячних елементів, у Норвегії – 50 000, у США – близько 100 000.

Фахівці припускають, що до 2050 р. сонячні елементи даватимуть

близько 30% (у деяких країнах, зокрема США – до 50%) від загальної електроенергії, що виробляється у світі. Кращі технології з виробництва сонячних елементів розроблено в Німеччині, Японії, Італії. Найбільш високоякісні з високим ККД фотоелектричні сонячні елементи застосовують у космонавтиці. Вони – найдорожчі, оскільки виготовлені з монокристалічного кремнію. Дешевші виготовляють із полікристалічного кремнію та широко застосовують для наземних потреб.

У колишньому СРСР перша дослідна геліовежа («Сонячна електростанція» – СЕС-5) була збудована в Криму, в районі п-ова Казантип (сmt. Щолкіне), в 1985 р. Її потужність становила 5 МВт і вартість споруди була дуже високою, як і «Solar-1» у США. Станція ефективно пропрацювала 6 років, припинивши своє існування після розпаду СРСР. У 1988 р. на базі СЕС-5 передбачалося спроектувати потужнішу сонячну станцію – на 100 МВт, але ці плани не було здійснено. Названа СЕС-5 мала металеву вежу 89 м заввишки з котлом-парогенератором на вершині. Навколо вежі було встановлено 1600 геліостатів – квадратних дзеркал з поперечником 5 метрів, змонтованих на фундаменті з 6400 залізобетонних паль. За допомогою комп'ютерного комплексу дзеркала стежили за сонцем, рухаючися синхронно світилу по горизонтальній і вертикальній осях і фокусуючи віддзеркалене проміння на поверхні парогенератора. Нагріваючись до 250 – 300°C, вода в парогенераторі перетворювалася на пару і трубопроводами прямувала до турбіни, установленної в машинній залі, де й вироблялася електроенергія. Вночі і в негоду робочий режим СЕС-5 підтримував акумулятор-резервуар з 400 т гарячої води ( $t^{\circ} = 120^{\circ}\text{C}$ ).

Тепер у США ведуться роботи над проектом, що має на меті одержати сонячну енергію з космосу. Американська космічна агенція НАСА вивчає можливості запуску супутників, призначених для поставки сонячної енергії на Землю вже до 2017 р. Проект «Сан Тавер» передбачає запуск на орбіту 12 тис. км (над екватором) цілої серії супутників, кожен з яких має виробляти 200 – 400 МВт енергії. Другим проектом під назвою – «Солор диск» передбачено вироблення супутниками енергії в кількості до 5 ГВт. До реалізації проектів, які вважаються досить перспективними, залучають і державних, і приватних інвесторів.

Над схожими проектами працюють також учені Німеччині та Франції.

Дедалі частіше сонячні елементи використовують для електродвигунів в автомобілях (США, Німеччина, Японія), на яхтах, невеликих літальних апаратах на зразок планерів.

#### **4.2.3. Потенціал і перспективи використання сонячної енергії**

Рельєф і особливості атмосферних умов визначають фактичний радіаційний режим, який конче потрібно враховувати під час вибору та проектування геліотехнічних установок. Радіаційний режим території України, надто ж її південних районів, у цілому є сприятливим для практичного використання сонячної енергії.

Значну частину території України характеризує середня інтенсивність сонячної радіації. У реальних умовах хмарності річне надходження сумарної сонячної радіації дорівнює  $1050 - 1400 \text{ кВт}\cdot\text{г}/\text{м}^2$  за загального збільшення з Півночі на Південь, при чому внесок розсіяної радіації становить  $40 - 50\%$ . Частка прямої сонячної радіації змінюється протягом року. З листопаду по лютий вона становить  $20 - 40\%$ , з березня по жовтень –  $40 - 65\%$ , на південному березі Криму влітку – до  $65 - 70\%$ . На добовий рівень сонячної радіації впливає прозорість атмосфери. Як правило, в літній час у першій половині дня атмосфера буває прозоришою. Інтенсивність і годинні суми прямої та розсіяної сонячної радіації в літні місяці вранці є більшими на  $3 - 4\%$ , ніж у відповідні за висотою Сонця вечірні години.

Найбільше число годин сонячного світла ( $2300 - 2400$ ) припадає на Крим і на узбережжя Чорного та Азовського морів. У степовій Україні тривалість сонячного сьйва за рік становить  $2000 - 2200$  годин. У районі Полісся і на сході України його тривалість зменшується до  $1740 - 1840$  годин. У низинах Закарпатської області число сонячних годин досягає  $2025$  на рік. Найбільш сонячними місяцями є травень – серпень, щонайменше сонця маємо в листопаді – лютому.

Щоб дати хоча б загальну оцінку ресурсам сонячної енергії, всю територію України умовно можна поділити на 4 зони. Перша зона характеризується річною сумою сонячної радіації, що є меншою  $1100 \text{ кВт}\cdot\text{г}/\text{м}^2$ , друга –  $1100 - 1200 \text{ кВт}\cdot\text{г}/\text{м}^2$ , третя –  $1200 - 1300 \text{ кВт}\cdot\text{г}/\text{м}^2$ , четверта –  $1300 - 1400 \text{ кВт}\cdot\text{г}/\text{м}^2$ .

Сонячні установки (навіть з урахуванням високих початкових капіталовкладень) досить ефективні в сприятливих кліматичних умовах, властивих для практично всієї території України. Згідно з оцінками, для нашої країни добове надходження сонячної радіації становить близько  $20 \text{ ГДж}/\text{м}^2$  на рік. Величина енергії сонячного випромінювання змінюється залежно від пори року й регіону України. Так, її питомий потік за рік (на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальної поверхні) коливається від  $3,85 \text{ ГДж}$  у Львові, до  $4,99 \text{ ГДж}$  у Сімферополі.

Досвід проектування та експлуатації сонячних установок гарячого водопостачання в умовах України показує, що їх застосування дає змогу заощадити (порівняно з джерелом традиційного водопостачання) умовне паливо в межах від  $85 \text{ кг у. п. м}^2$  у Львові до  $132 \text{ кг у. п. м}^2$  у Сімферополі. Освоєння сонячної енергії з метою одержання електричної енергії проводять у двох основних напрямках: фотоелектричному і термодинамічному. Фотоелектричний являє собою безпосереднє перетворення електромагнітного випромінювання Сонця оптичного діапазону на електричну енергію постійного струму за допомогою спеціальних фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), виготовлених на основі кремнію, арсеніду, галію та інших широко відомих провідників. Термодинамічний напрямок – сонячна енергія концентрується на котлі, пара з якого поступає в турбіну з

генератором (створення сонячних теплових електричних станцій).

Використання сонячної енергії для теплопостачання не лише заощаджує паливо, а й сприяє захисту довкілля, причому в окремих регіонах результат може бути значним.

Перспективним є використання так званих систем пасивного сонячного опалювання, тобто систем, у яких не застосовують спеціального устаткування, а приймачами і акумуляторами сонячної енергії є самі конструкційні елементи будівель і споруд.

Такі системи створюють можливість у різних кліматичних зонах економити від 20 до 60% палива, що витрачається на опалення.

Цей практичний напрям сонячної енергетики є найбільш освоєним. В його підґрунті лежить використання пристроїв, що перетворюють сонячну радіацію на теплоту. Установки сонячного теплопостачання використовують для гарячого водопостачання, опалення і кондиціонування повітря в житлових, громадських, санаторно-курортних будівлях, для підігрівання води в плавальних басейнах, а також для потреб сільського господарства.

Оцінюючи загальний стан сонячної енергетики в Україні, його можна охарактеризувати як початкову стадію у розвитку цього напрямку. Мірою вдосконалення технологічних рішень і підвищення економічності сонячних енергоустановок масштаби використання сонячної енергії збільшуватимуться.

### **4.3. Вітроенергетика і мала гідроенергетика**

#### **4.3.1. Потенціал і перспективи розвитку вітроенергетики**

Людство з давнини послуговувалося енергією вітру. Ще первісні люди використовували видовбані човники з вітрилами. Стародавні перси задовго до голландців мололи зерно за допомогою вітряків, причому їхні вітряні млини оберталися на вертикальній осі. Чимало століть тому голландці вже застосовували вітряки не тільки для перемелювання зерна, а й для відкачування води з обвалованих понижень ландшафту, на яких обробляли сільськогосподарські культури. Довжина лопатей у голландських вітряках сягала 12 м. Багато вітряних млинів Голландії, яким нині понад 500 років, усе ще в робочому стані.

У 50-х роках XIX ст. у США був винайдений новий тип вітряків – багатолопатевої, а вже до середини XX ст. близько 6 млн. багатолопатевої вітряків на території США качали воду

з криниць і першими забезпечували електрикою американських фермерів, мололи зерно, давали світло й тепло, допомагали сільським районам підключатися до радіо. У віддалених від промислових центрів і міст фермах та селищах, куди не рентабельно або дуже складно тягнути лінії електропередач, і тепер – не лише в США, а й в інших країнах Європи та Азії – вітряки ефективно використовуються як малопотужні енергоустановки (для відкачування води з колодязів, свердловин, для освітлення, живлення



електроогорож тощо).

До революції 1917 р. у Росії понад 200 000 вітряних млинів виробляли близько 95% борошна, десятки тисяч вітряків функціонували в Україні, ефективно використовуючи енергію вітру. Згодом в Україні налічувалося близько 30 тис. вітряків, які виробляли до 200 тис. кВт·г енергії. З початком колективізації їх число значно зменшилося, а до 1988 р. – залишилося всього 15!

Перший вітроагрегат у колишньому СРСР було побудовано 1931 р., він мав потужність 100 кВт і пропрацював до 1941 р. З об'єктивних причин країна після війни не зуміла закріпити свої успіхи й далі розвинути будівництво вітроелектроустановок (ВЕУ). Від 1990 р. в Росії знову проводять роботу зі створення ефективних вітродвигунів потужністю 30, 60, 100, 250, 1000 та 1050 кВт. У 90-х роках ХХ ст. планувалося будівництво цілої низки вітроенергетичних станцій: біля Ленінграда (25 МВт), у Казах стані (15 МВт), Криму (12,5 МВт), Дагестані (6 МВт), але після розпаду СРСР ці плани так і не було втілено в життя.

Вітроенергетика є похідною від впливу активності Сонця на земну атмосферу. На сучасному етапі це одна з найперспективніших галузей нетрадиційної енергетики. За наявними прогнозами вже на початку ХХІ ст. вітрова енергетика задовольнить від 1...2% до 10...15% електроенергетичних потреб у різних країнах Європейського Союзу. Загальна потужність вітроенергетичних установок під 2005 р. становитиме 8,0 млн. кВт. Найефективнішими вважають ВЕУ потужністю 100 – 200 кВт. Існує позитивний досвід роботи вітроустановок потужністю 300...1 500 кВт з вітроколесами діаметром 40 – 60 м.

У Європі провідне місце належить Данії, де побудовано 3 600 ВЕУ, що вже тепер виробляють 3% від загального об'єму електроенергії країни. Причому 3 218 вітроагрегатів сполучені між собою загальною мережею встановленою потужністю 418 МВт, яка виробляє 740 млн. кВт·г на рік. Активна робота з використання енергії вітру проводиться у Великобританії, де екологічні й метеорологічні умови є сприятливими. Потенціал ВЕУ, споруджуваних на узбережжі, на ізольованих островах і плавучих платформах, становить тут 220·106 кВт·г на рік (20% електропостачання Великобританії). Термін окупності ВЕУ середньої потужності за швидкості вітру 8 м/с становить 5...7 років, а термін служби – 15...20 років.

Якісне зрушення в розвитку цього напрямку нетрадиційної електроенергетики в Україні намітилося після Чорнобильської катастрофи й дістало додатковий імпульс за останні десять років. Дотепер розроблена ціла серія вітроустановок різної потужності (0,5; 1,5; 2; 4; 10; 25; 80; 100 кВт) і різного призначення. Створені вітроустановки з горизонтальною віссю обертання й потужністю 200, 250, 500 кВт і вертикальною віссю обертання – 1 250 кВт, виготовлено 40 ВЕУ потужністю 200 кВт, які призначені для роботи на лінії електропередач. Нині (спільно з американською фірмою «Віндпавер») реалізується великий проект щодо створення вітростанції

USW-56–100 зі встановленою потужністю 500 МВт на базі ВЕУ (потужність окремої установки 107,5 кВт, кількість 5 000 шт.). Вітроелектростанції цього типу будуть розміщені в Криму, де вже змонтовані і працюють 32 такі установки. Усі вітроелектричні установки можуть працювати в комплексі з ними енергоустановками, що використовують відновлювані джерела енергії.

Окрім зауважених науково-технічних і виробничих чинників, які окреслюють перспективи розвитку вітроенергетики, досить важливим є рівень потужності вітрового потоку, котрий визначає доцільність застосування ВЕР у тому або тому регіоні.

Україна має величезні ресурси вітрової енергетики. Відомо, що енергію вітру можна використовувати за  $v > 3$  м/с, а максимальної ефективності досягають у районах, де  $v > 5$  м/с. До таких районів належить Азово-Причорноморська зона, Донецька, Луганська, Запорізька області, район Карпат. Тут спостерігається максимально можливе використання енергії вітру, бо час роботи вітродвигуна дорівнює близько 600 г/місяць. Мінімальна енергія вітру припадає на середню течію Дніпра й північно-західну частину України (січень – 500 годин). Нескладні розрахунки показали, що в приморській зоні України, в Донбасі та Південній частині степів ВЕУ працюватимуть 180...200 повних робочих днів за швидкості вітру  $v = 5$  м/с. Відповідно, запаси вітрової енергії становитимуть 2...2,5 тис. кВт·р/м<sup>2</sup>. Аналіз даних щодо вітрової ефективності України свідчить про великі потенційні можливості й доконечність розвитку вітроенергетики для забезпечення електрикою і теплом, насамперед, автономних сільськогосподарських споживачів. ВЕР потужністю до 1 кВт є достатньою, щоб забезпечити енергією підсобне господарство. Серія установок загальною потужністю 150 – 200 кВт задовольнить 50% потреби в електроенергії, що її має селище з населенням 1 000 чол., дасть змогу заощадити до 300 тис. кВт на рік. Установка потужністю 50 – 60 кВт розв'яже інші проблеми його енергозабезпечення (теплом, водою тощо), при цьому буде зекономлено ще до 200 тис. кВт електроенергії на рік.

Сумарна площа, на якій доцільним є одержання електроенергії від вітроустановки, становить близько 20% всієї площі України, а можливий річний енергетичний потенціал ефективного використання ВЕР – 300...600 млрд. кВт·г електроенергії. (Для порівняння: у 1992 р. всіма електростанціями України вироблено 282,6 млрд. кВт·г електроенергії). У перспективі обсяг електроенергії, виробленої ВЕР України, може становити 15...20 % від загальної кількості електроенергії, яку виробляють традиційні електростанції. Отже, використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найефективнішим і найпривабливішим способом утилізації вітрової енергії.

Сумарну кінетичну енергію вітру над планетою оцінюють у приблизно в 2,43·10<sup>15</sup> кВт·г, що в 5 разів перевищує сучасне світове споживання електроенергії. Технології його використання стають усе ефективнішими,

екологічність вітроустановок, порівняно з ТЕС й АЕС, є досить значною, перспективи вітроенергетики оцінюються високо: до 10 – 12% від загальної електроенергії, що виробляється у світі (під 2050 р.) і до 10 – 25% – від електрики, яку використовують у США.

За розрахунками фахівців, у 2000 р. сумарна потужність вітроелектростанцій США досягла 50 млн. кВт, в Україні – 2 млн. кВт.

Нині європейські уряди витрачають на дослідження щодо розвитку вітроенергетики в 10 разів більше коштів і планують у найближчому майбутньому виробляти в 2 рази більше електрики за допомогою вітру, ніж у США.

До 2000 р. вартість вітроенергетики практично зрівнялася з вартістю атомної й теплової енергетики.

Особливості конструкцій вітродвигунів. Енергія вітру має свої особливості: невелику концентрацію, віднесену до одиниці об'єму повітряного потоку, випадковий характер зміни швидкості. Енергія виробляється, коли лопаті вітродвигуна обертаються під натиском вітру. Величина енергії, що виробляється при цьому, залежить від розмірів, форми, кількості лопатей, від сили вітру і зростає пропорційно квадрату довжини лопаті й кубу швидкості вітру. Кількість лопатей у роторі може бути різною: 1, 2, 3, 4, 8, 18, 30 тощо.

Кінетичну енергію вітрового потоку обчислюють за формулою:

$$A = mV^2 / 2,$$

де  $m$  – маса рухомого повітря, кг;

$V$  – швидкість вітру, м/с.

Потужність вітрового потоку визначається як

$$P = \rho \cdot FV^3 / 2,$$

де  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  – площа, що її перетинає вітровий потік, м<sup>2</sup>.

Теоретичний ККД ідеального вітрового колеса (критерій Бетца), який характеризує перетворення потужності повітряного потоку, що проходить крізь площу його перерізу, в потужність на валу колеса, становить  $16/27 = 0,59$ . Проте, реальний ККД не перевищує 0,45. Наприклад, вітрове колесо з лопаттю в 10 м завдовжки при швидкості вітру 10 м/с може мати потужність на валу не більшу від 85 кВт.

Нині існує багато різних конструкцій вітроагрегатів – не тільки пропелерного типу, а й у формі щитів, що гойдаються під натиском вітру (з горизонтальною і вертикальною віссю обертання). Сучасні вітродвигуни – це складні автоматизовані електромеханічні системи з перетворення енергії вітру на електроенергію заданої якості. Головними елементами вітроагрегату є ротор (лопаті), генератор, коробка передач, струмозбирачі, електрокабелі, щогла (рис. 4.6).

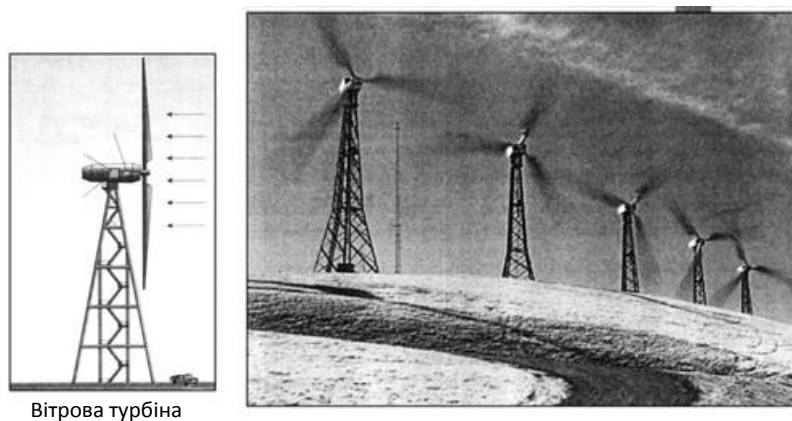


Рис.4.6 – Вітроагрегати

Вітрові турбіни можна використовувати, для виробництва електрики індивідуально або в кластерах, які ще називають вітряними станціями. Тепер якнайширше використовуються турбіни, що мають три скловолоконні лопаті 20 – 30 метрів (66 – 98 футів) в діаметрі. Вітряні станції, більшість з яких автоматизовані, дають приблизно 1% електрики для Каліфорнії – цього досить, аби забезпечити нею 280000 будинків.

Залежно від потужності генератора, вітроустановки поділяють на класи, параметри і призначення яких наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Класифікація вітроустановок

Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр коліс, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	15 – 50	3 – 10	3 – 2	Зарядка акумуляторів, насоси, побутові споживачі
Середньої потужності	100 – 600	25 – 44	3 – 2	Енергетика
Великої потужності	1000 – 4000	>45	2	Енергетика

Більшість великих вітродвигунів розраховано на роботу при швидкості вітру 17 – 58 км/г, оскільки вітер зі швидкістю менше 17 км/г дає обмаль корисної енергії, а швидкість понад 58 км/г загрожує роботі агрегату й може спричинити його зіпсування. Великі пропелерні лопаті схильні до “втомлюваності”. Як правило, двигуни встановлюють на високих щоглах (вежах) – від 30 – 40 до 60 – 70 м таким чином, аби лопаті були відкриті сильнішим вітрам, що дмуть на значних висотах. Високі щогли потребують особливої міцності конструктивних матеріалів.

Оскільки швидкість вітру варіює, суттєво змінюється в короткі проміжки часу і веде до різкої зміни числа обертів генератора за секунду, то змінний струм, що виробляється у процесі обертання осі, випрямляють, тобто перетворюють на постійний (електронний перетворювач встановлюють у

великих вітродвигунах, акумуляторні батареї – в малих).

Акумуляторні батареї є доконечно потрібними для накопичення електроенергії на періоди, коли немає вітру.

Як свідчить досвід експлуатації вітродвигунів за останні 20 років, гігантські віротурбіни (на зразок MOD-2, США, вежа 61 м заввишки, лопаті робочого колеса турбіни мають загальну довжину 92 м, вага кожної – 80 т, потужність – 2,5 МВт) будуть нерентабельні, надто складні й ненадійні. Значно перспективнішою вважають розробку вітродвигунів потужністю 50, 100, 200 і 500 кВт для забезпечення електрикою міст, муніципальних підприємств і 8 – 50 кВт – для забезпечення нею сільських районів, фермерських господарств.

Термін окупності вітроенергетичної установки залежно від місцевості, наявності комунікацій, потужності самого обладнання тощо становить 3 – 8 років.

Питомі капітальні витрати для станції малої потужності дорівнюють 800 – 1 000 дол США за 1 кВт установленої потужності та знижуються зі збільшенням потужності установки. Так, капітальні витрати на вітроенергетичну станцію потужністю 250 кВт (Данія) становлять 40 тис. дол США при терміні окупності 6–7 років.

Рівні виробництва електроенергії за рахунок вітроустановок у країнах ЄС ілюструє рис. 4.7.

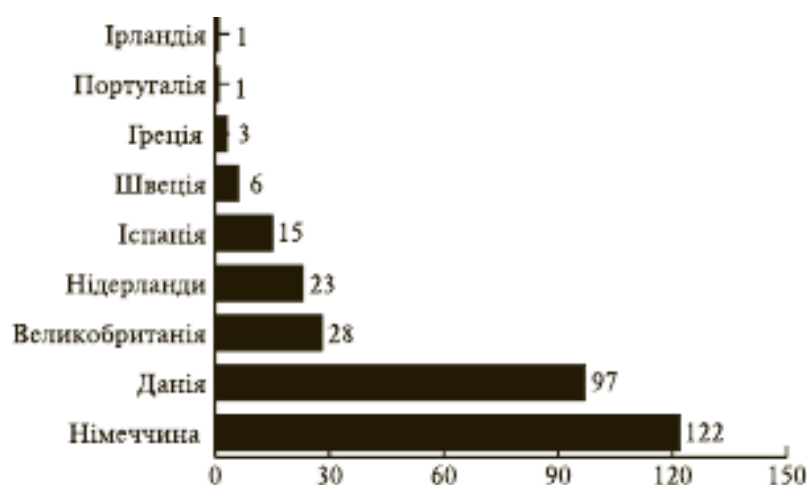


Рис. 4.7 – Виробництво електроенергії за рахунок вітроустановок у країнах ЄС

Прикладом ефективного використання вітроенергетики може слугувати “вітряний парк” (Західне узбережжя, Шлезвіг-Гольштайн, Німеччина). Наприкінці 1987 року недалеко від Брюнсбюттеля на узбережжі Північного моря запрацювала перша в Європі велика вітрова станція. На площі 21 га рівнинного ландшафту на греблях було встановлено на бетонних і сталевих вежах 32 вітродвигуна середньої потужності. Поблизу Вільгельмсхафена (Нижня Саксонія) наприкінці 1989 р. також установили 3 шістдесятиметрові

вежі з лопатями 28 м завдовжки (однолопатеві). Ці вітротурбіни виробляють по 640 кВт електроенергії, здатної задовольнити потреби 1600 домашніх господарств. В Індії ледве чи не 3000 середніх вітротурбін уведено в експлуатацію останніми роками.

1993 року в Україні, в районі затоки Доузлав (Крим) запустили вітростанцію, побудовану за співпраці американських та українських фахівців. Її потужність становить 500 МВт (53 агрегати USW-56-100). Успішно функціонує Акташська ВЕС (11 ВЕУ АВЕ-250 виробництва НВО «Південне»). Вітроелектростанції Криму з початку експлуатації й до кінця століття виробили близько 10 млн. кВт·г.

Згідно з комплексною програмою будівництва ВЕС в Україні до 2010 р. передбачено спорудити в Криму п'ять ВЕС загальною потужністю до 200 МВт (Сакська, Джанкойська, Міновська, Прісноводненська, Східно-Кримська – найбільша, складається з 150 ВЕУ загальною потужністю 150 МВт). Перевагу надано тихохідним установкам, розрахованим на швидкість вітру від 3 до 12 – 15 м/с.

Українські ВЕУ виробляють у 1,5 разів дешевшу електроенергію, порівняно з американськими.

#### **4.3.2. Мала гідроенергетика**

Поки що немає загальноприйнятих критеріїв для класифікації гідроелектростанцій на великі, середні, малі тощо. У країнах колишнього СРСР на практиці користувалися таким поділом ГЕС (за розміром їх потужності): мікрогідроелектростанції – ГЕС потужністю менше 0,1 МВт; малі ГЕС – потужністю 0,1 – 30 МВт; 30 – 1 000 МВт – середні ГЕС; 1,0 – 6 і більш ГВт – великі ГЕС (Красноярська ГЕС – 6 ГВт, Саяно-Шушенська – 6,4 ГВт, ГЕС на р. Гурі – 10 ГВт та ін.).

Відповідно до державного стандарту (ДСТУ 17.1.1.02–77. Гідросфера, класифікація водних об'єктів) до малих річок належать ті, площа водозбору яких не перевищує 2 000 км<sup>2</sup> або довжина становить до 100 км незалежно від площі водозбору.

Тепер до малої гідроенергетики зараховують усі об'єкти, що виробляють електроенергію коштом падаючої або рухомої води, мають потужність від декількох кВт до 1 – 12 МВт і розташовані не тільки в руслах малих або у верхів'ях великих річок, а й також на водосховищах, каналах, системах комунально-побутового водопостачання.

Фахівці вважають, що мала енергетика зараз переживає ніби друге народження. За минулі 30–40 років після спорудження десятків чималих ГЕС у світі (особливо в колишньому СРСР) на великих річках, гостро постало питання про доцільність спорудження великих ГЕС, адже, з одного боку, були затоплені величезні площі родючих заплавлених земель, знищені сотні тисяч гектарів ефективних сільськогосподарських угідь, садів, лісів, були порушені гідравлічні та гідрохімічні режими великих і середніх річок, спровоковані до деградації екосистеми цих водних об'єктів і, з другого –

частка електроенергії, що виробляється цими потужними ГЕС, у загальному об'ємі електроенергії, продукованої за допомогою ТЕС й АЕС, виявилася мізерною.

Неабияка вартість, наявність порівняно незначної кількості регіонів, географічно придатних для будівництва, великий екологічний збиток від затоплення земель, підтоплень територій, замулювання, загибель риб-мігрантів, цвітіння водосховищ, збільшення сейсмічної активності та ін. спричинили те, що й у США, і в країнах колишнього СРСР, а також в інших регіонах світу завершилася ера великих і гігантських ГЕС. Винятком залишаються Китай і Бразилія, де до кінця ХХ ст. спостерігався істотний приріст електроенергетики за рахунок створення та експлуатації надпотужних ГЕС (ГЕС Ітайпу в Бразилії – 12,6 ГВт, ГЕС «Три Горджес» у Китаї – 13 ГВт). Китай поки що є лідером і будівництві малих ГЕС – у країні налічують понад 90000 гідротурбін, що обслуговують електроенергією сільські місцевості.

Останнє десятиліття минулого століття ознаменувалося тим, що промислово розвинені країни значно активізували відновлення і будівництво малих ГЕС. Це характерно для США, Японії, країн Скандинавії, Німеччини, Польщі. У Польщі, наприклад, триває реставрація 640 малих гребель, у Канаді – 570. Річний приріст випуску устаткування для малих ГЕС (гідротурбін потужністю 0,5...11 кВт) у країнах СНД становив близько 700 штук (1995–1996 рр.). Малі ГЕС у СНД технічно можуть освоїти десь 500 млрд. кВт·г (приблизно 23%). Велику ефективність малої гідроенергії в колишньому СРСР та інших країнах підтвердили 40–50-і роки, коли в експлуатацію було введено тисячі малих ГЕС, що забезпечували дешевою й екологічно прийнятною електроенергією чимало колгоспів, радгоспів, сел, ферм, окремих промислових підприємств, заводів, робітничих селищ.

Проте в 60–70-х роках у результаті швидкого розвитку в усьому світі великої енергетики, що базувалася на великих теплових і атомних електростанціях, потужних і надпотужних ГЕС, у процесі будівництва яких цілком нехтували екологічними наслідками, багато тисяч малих ГЕС були виведені з експлуатації, законсервовані або знищені. Україна в цьому плані не стала винятком.

На початку 20-х років ХХ ст. в Україні налічувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4 000 кВт, а в кінці 1929 р. – уже 150 станцій загальною потужністю 8 400 кВт. 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (1 650 кВт), яка за своїми технічними характеристиками була однією з кращих станцій того часу.

У цей, а також у післявоєнний період електрифікація сільського господарства ґрунтувалася на збільшенні потужності й поліпшенні техніко-економічних показників малих ГЕС, кількість яких до початку 50-х років становила 956 одиниць загальною потужністю 30 тис. кВт. З розвитком електрифікації країни та централізованого енергопостачання на базі тепло- і гідроелектростанцій будівництво малих ГЕС було припинене.

Досвід інших держав і різке змінення економічної, енергетичної та екологічної ситуації в країні (висока вартість і дефіцит ПЕР, намічена тенденція до децентралізації енергопостачання, перехід до ринкових відносин) примусили знов повернутися обличчям до малої гідроенергетики. Проведене обстеження технічного стану обладнання і споруд малої гідроенергетики показало, що на території України збереглося 150 малих ГЕС, серед яких діють лише 49 одиниць.

Усі малі ГЕС, достоту як і гідроресурси загалом, розподілені по території України нерівномірно: більшість – у центральному і західному регіонах. Сумарна потужність становить 119,2 тис. кВт (248,9 млн. кВт·г), з яких 75% припадає на діючі ГЕС.

Загальні потенційні ресурси 202 основних річок України оцінено в 4880 МВт, а потенційні ресурси приток великих річок, середніх і малих річок – близько 2600 МВт. На них уже споруджено понад 20 тис. малих і великих водосховищ. Близько 260 водосховищ мають місткість 10...100 млн. м<sup>3</sup>, і на них можна спорудити малі ГЕС з напорами 5...10 м (одиничною потужністю 0,5...2,0 МВт).

Мала енергетика України, маючи незначну питому вагу (до 0,2%) у загальному енергобалансі, не може істотно впливати на умови енергозабезпечення країни, проте дає змогу виробляти близько 250 млн. кВт·г електроенергії. Це відповідає щорічній економії до 75 тис. т дефіцитного органічного палива. Міні- й мікро-ГЕС можуть стати масовими, рівномірно розподіленими по території України. Розвиток малої гідроенергетики слід розглядати як один з напрямів політики енергозбереження і поліпшення екологічної обстановки в Україні.

Останнім часом відроджені й відбудовані малі ГЕС різняться великим ступенем автоматизації. Сьогодні в Європі функціонує більше як 45 тис. малих ГЕС потужністю 60 – 5 000 кВт, в Азії – понад 150 тис. (здебільшого в Китаї та Японії). У Швеції, Норвегії та Швейцарії мала гідроенергетика дає близько 90% електроенергії.

У вдосконалення гідротурбін для малої гідроенергетики вагомий внесок зробили французькі інженери (фірма «Нейрпик»). Вони винайшли новий різновид турбіни грушоподібної форми, яка універсальна і може виробляти енергію просто за рахунок швидкоплинної води; для неї не потрібна гребля, вона може бути встановлена у вузьких місцях, нижче за потоки від скидної споруди. Перспективною вважають також розроблену французами (1978–1980 роки) мініатюрну гідроелектростанцію «Гідролек» (фірма «Лерой-Сомер»), яка спроможна давати до 4 кВт енергії за різниці в рівнях річкової води всього в 0,9 м, якщо швидкість потоку перевищує 266 л/с.

Сприятливим чинником для розвитку малих ГЕС є незначний час, потрібний для досягнення проектної потужності (близько 1 року, для АЕС – 10–12 років), невелика вартість, екологічність, широкі можливості для спорудження за наявності розгалуженої річкової мережі, каналів.



#### 4.4. Біоенергетика

Стан розвитку та енергетичний потенціал. Майже третина населення Землі (приблизно 2 млрд. чол.) ще й досі використовує біомасу у вигляді деревини як основне джерело палива.

Біомаса (БМ) – термін, який вживають на позначення сукупності живої і неживої, рослинної і тваринної матерії на нашій планеті. У це поняття також включено органічні залишки, відходи – гній, викиди мясо- й молококомбінатів, гнилі овочі, рештки сільськогосподарських культур на полях, органічні промислові й побутові відходи, відходи лісового господарства, босень, броварень, зернопереробних, текстильних, паперових заводів тощо.

У будь-якій формі біомаса є відновлюваним, єдиним доступним, простим і дешевим джерелом енергії для більшості сільських жителів планети. В Ефіопії, Непалі, Танзанії, в Сибіру й Амазонії, в Північній Канаді та на островах Полінезії, Мікронезії, в Малайзії завдяки біомасі задовольняється 80 – 90% потреб у паливі. Навіть у таких розвинених країнах, як США, Швеція, Норвегія, Канада, частка енергії, одержуваної з біомаси, в загальному обсязі енергії становить 4 – 10%.

Біомаса є продуктом фотосинтезу – найважливішого процесу народження живої речовини за рахунок сонячної енергії.

Одержання енергії з біомаси (деревини, деревних відходів, соломи, гною, сільськогосподарських відходів, органічної частини твердих побутових відходів) є галуззю, що динамічно розвивається в багатьох країнах світу. Цьому сприяють такі властивості біомаси як палива: великий потенціал і відновлюваний характер, надійність систем енергопостачання, на ній базованих, можливість суттєво зменшити викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу, значний внесок у розв'язання екологічних проблем завдяки використанню різних відходів, чим допомагають вирішенню соціальних питань та економічному розвитку регіонів.

Завдяки неабиякому потенціалу, стислим термінам окупності проектів, екологічним перевагам біомаса вірогідно є одним з найпріоритетніших видів серед інших відновлюваних джерел енергії в більшості країн. Під кінець ХХ ст. загальний обсяг світових первинних енергоресурсів становив близько 8,5 млрд. т н. е., з яких приблизно 7 млрд. т н. е. припадає на частку викопного органічного палива. Водночас, енергетичний потенціал усієї рослинності нашої планети становить близько 70 млрд. т н. е., тобто в 10 разів перевищує використання викопного палива. Частка деревини, яку використовують для одержання енергії, становить: у Данії – 61% від загального об'єму вивезеної з лісів деревини, у Франції – 56%, Іспанії – 44%, Швейцарії – 56%. Пересічно в Європі темпи її використання зростають на 7,3% щороку (у Швеції – 10,2% на рік, у Данії – 9,2%, Франції – 8,9%, Іспанії – 7,7%).

Нині БМ покриває в середньому 15% загального споживання первинних енергоресурсів у світі: у країнах, що розвиваються, – 48%, у промислово розвинених країнах – пересічно 2 – 3% (США – 3,2%; Данія –

6%; Австрія – 12%; Швеція – 18%; Фінляндія – 23%; див. табл. 4.8.).

Як бачимо, ресурси біомаси є ефективним відновлюваним джерелом енергії, що його різні види наявні практично в усіх регіонах світу. Отже, у кожному з них може бути налагоджена переробка біомаси в енергію і паливо. На сучасному рівні, використавши біомасу, можна покрити 6 – 10% від загальної кількості енергетичних потреб промислово розвинених країн. Біомаса, здебільшого у формі деревного палива, є основним джерелом енергії приблизно для 2 млрд. чол. Для більшості мешканців сільських районів “третього світу” вона лишається єдиним приступним джерелом енергії. Біомаса як джерело енергії відіграє надзвичайно важливу роль і в розвинених країнах. Навзагал вона дає сьому частину від світового обсягу палива, а за кількістю одержаної енергії спільно з природним газом посідає третє місце. З біомаси дістають у 4 рази більше енергії, ніж дає ядерна енергетика.

*Таблиця 4.8. – Рівень розвитку біоенергетики в різних країнах*

Показник	США	Данія	Австрія	Швеція	Фінляндія
Частка БМ у загальному споживанні енергоресурсів, %	3,2	6,0	12,0	18,0	23,0
Частка різних видів БМ у загальному виробленні енергії з БМ, %:					
Деревина	85	37,0	74,2	83,0	73
Солома	–	24,7	–	–	–
Рідкі палива	5,5*	–	–	–	–
Торф	–	–	–	4,8	25,2
Тверді побутові відходи	9,5	40,5	18,9	5,2	1,8
Біогаз	5,5*	0,33			

\* Наведена цифра є сумарною щодо біогазу і рідкого палива.

Стратегія розвитку біоенергетики істотно відрізняється в різних країнах ЄС. Так, Австрія та Італія зосереджують свої зусилля на будівництві теплових станцій потужністю 0,5...10,0 МВт, що використовуватимуть як паливо відходи лісової й деревообробної промисловості. У Фінляндії, Данії та Швеції близько 70% одержаної з БМ енергії перетворюються в теплову й електричну енергію на великих теплофікаційних ТЕЦ, решта ж – на великих теплових станціях. У більшості випадків такі ТЕЦ мають потужність 10...80 МВт та як первинні енергетичні ресурси використовують БМ і традиційні палива. У США майже всі станції, що працюють на БМ, виробляють електроенергію. Зведені дані про енергетичне використання БМ у різних країнах представлені в табл. 4.8.

Одним зі способів одержання енергії з біомаси тваринного і частково рослинного походження є її анаеробне (без доступу кисню) зброджування. Для цього біомасу певний час витримують без доступу кисню, як правило, при температурі 30 – 37°C або 55 – 60°C. У цих умовах під дією бактерій

частина органічних речовин розкладається і в результаті утворюється метан та вуглекислий газ, суміш яких і є біогазом. За нормальних умов роботи реактора (метантенка) одержаний біогаз містить 60 – 70% метану, 30 – 40% двоокису вуглецю, небагато сірководню (до 3 %), а також домішки водню, аміаку й оксиди азоту. Такий газ не має неприємного запаху, його теплота згорання досягає 25 МДж/м<sup>3</sup>, що еквівалентно теплоті згорання 0,6 л бензину, 0,85 л спирту або 1,7 кг дров.

Значною перевагою біогазових установок є те, що вони одночасно відіграють роль очисних споруд, що знижують бактерійне та хімічне забруднення ґрунту, води і повітря. Порівняно з малими ГЕС, вітро- й геліоенергоустановками, які є пасивно чистими (використовують екологічно чисті джерела енергії), біогазові установки – активно чисті, тобто усувають екологічну небезпечність продуктів, що застосовуються як джерела первинної енергії.

Тепер у Європі зосереджено 44% світового об'єму установок для зброджування аероба, в Північній Америці – 14%. 1994 року в країнах ЄС було зареєстровано 397 великих біогазових установок, зокрема промислових і централізованих сільськогосподарських.

За своїм потенціалом і концепцією розвитку біоенергетики найближчою до України є, певно, Данія, адже обидві країни мають достатньо малу територію, покриту лісом (близько 14%), і високорозвинутий сільськогосподарський сектор. У Данії експлуатується 50 теплових електричних станцій і 5 великих ТЕЦ, що застосовують деревину як паливо; працює 8000 фермерських установок (0,1...1,0 МВт), 62 ТЕС (1...10 МВт) і 9 ТЕЦ, які спалюють соломку; діють 18 централізованих біогазових установок, котрі щорічно виробляють 40 – 45 млн. м<sup>3</sup> (0,02 млн. т н. е) біогазу. В цілому, завдяки застосуванню біогазу покривається 6% потреби країни в енергоресурсах. Данія наочно демонструє Україні, яких результатів можна досягти в цьому перспективному напрямі.

Дійсно, в Україні на самих лише великих свинарських і птахівничих підприємствах щорічно утворюється понад 3 млн. т органічних відходів як сухої речовини, а їх переробка дасть змогу одержати близько 1 млн. т у. п. у вигляді біогазу, що еквівалентно 8 млрд. кВт·г. електроенергії. Крім того, існує майже 2 млн. не газифікованих приватних об'єктів. Досвід країн, не забезпечених природним газом, наприклад КНР, показує, що віддалені сільські місцевості доцільно газифікувати за допомогою малих біоустановок, які працюють на органічних відходах приватних садиб. Так, упровадження 2 млн. установок в Україні дало б змогу одержати близько 2 млрд. м<sup>3</sup> біогазу на рік (це дорівнює 13 млрд. кВт·г енергії) і забезпечило б такі садиви органічним добривом у кількості 10 млн. т на рік.

Як засвідчив набутий практичний досвід виробництво біогазу є для України найперспективнішим напрямом використання енергії біомаси. Головними потенційними джерелами, крім зауважених вище, є: міські комунальні очисні споруди, органічні відходи деяких промислових галузей,

полігони твердих побутових відходів міст (звалища).

Попередні оцінки потенційних запасів біогазу (табл. 4.9) в Україні свідчать, що (за максимального використання органічних відходів і впровадження сучасної техніки одержання біогазу) його частина в загальному використанні горючих газів може становити близько 10 %. Потенціал анаеробної ферментації України дає змогу тваринницьким комплексам покрити 30 % їхньої потреби в енергії. При цьому окрім біогазу будуть одержані високоякісні добрива. Якщо загалом енергетичні ресурси нетрадиційних енергетичних джерел в Україні становлять 78,2 млн. т у. п./р., то з них на частку біоенергетики припадає 21,2 млн. т у. п./р., (27 % потенціалу НВДЖЕ).

Таблиця 4.9. – Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Вид біомаси	Валовий збір, млн. т	Коефіцієнт відходів	Коефіцієнт присутності	Кількість відходів, млн. т	Q <sub>рн.</sub> , МДж/кг	Кількість БМ, на місці отримання енергії		Енергетичний потенціал БМ, для енергетики	
						%	млн. т	%	млн. т у.п.
Злакові культури	28,53	1,771	0,85	42,95	15,7	20	8,59	134,8	4,6
Кукурудза на зерно	5,34	1,2	0,7	4,49	13,7	50	2,24	30,72	1,05
Цукровий буряк	17,66	0,4	0,4	2,83	13,7	50	1,41	19,36	0,66
Соняшник	2,31	3,7	0,7	5,97	13,7	50	2,99	40,94	1,39
Деревина	5,94	0,55	0,9	2,94	15,0	40	1,18	17,65	0,6
Гній (суха речовина)	7,39	–	0,62	4,58	15,0	100	4,58	68,7	2,34
Разом	–	–	–	63,76	–	–	20,98	312,15	10,64

Згідно з “Протоколом про спільні зусилля щодо зниження емісії парникових газів в атмосферу” (м. Кіто, Японія, 1997 р.), промислово розвинені країни мусять до 2010 р. знизити емісію парникових газів у середньому на 5,2% порівняно з 1990 р. (країни ЄС – на 8%, США – на 7%, Японія – на 6%). Використання БМ як палива складає істотний внесок у вирішення цього питання, оскільки БМ є CO<sub>2</sub> – нейтральною. Під час її спалювання виділяється та ж сама кількість CO<sub>2</sub>, яка була поглинена в процесі її зростання. Викиди парникових газів (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) у перерахунку на CO<sub>2</sub> – еквівалент під час спалювання вугілля – дорівнюють величині корисної енергії, яка в 20 разів перевищує їхню кількість у процесі спалення деревної щепи.

У наш час біомасу все ширше використовують для вироблення біогазу та подальшої його переробки з метою виробити електроенергію, добрива, тепло (рис. 4.8).

Біогаз одержують із рідкої маси, що містить 95% води, тому на

практиці його вихід визначити досить важко. Істотною перевагою переробки біомаси в метантенках (біогазових установках) є те, що у відходах біомаси хвороботворних мікроорганізмів міститься значно менше, ніж у початковому матеріалі.

Одержання біогазу є економічно виправданим і вигідним у разі, коли переробляють постійний потік відходів (стоки тваринницьких ферм, боєнь, потік рослинних відходів тощо). Його економічність полягає у тому, що немає потреби заздалегідь збирати відходи й керувати їхньою подачею. При цьому видно, коли і скільки буде одержано відходів.



Рис. 4.8 – Процес отримання біогазу

Біогаз можна одержувати в установках різних розмірів. Особливо вигідно використовувати біогаз в агропромислових комплексах, де можливий повний екологічний цикл. Його застосовують для освітлення, опалення, приготування їжі, для надання руху різним механізмам, транспорту, електрогенератору.

Послідовність процесу зображена на рис. 4.8. На першому етапі складні органічні полімери (клітини, білки, жири та ін.) під впливом різних видів анаеробних бактерій розкладаються на простіші сполуки: леткі жирні кислоти, нижчі спирти, водень та оксид вуглецю, оцтову і мурашину кислоти, метиловий спирт. На другому етапі бактерії перетворюють органічні кислоти на метан, вуглекислий газ і воду.

Температура значною мірою впливає на перебіг процесу анаеробного зброджування органічних речовин. Найбільш сприятливою є температура 30–40°C (розвиток мезофільної бактерійної флори), а також 50 – 60°C (розвиток термофільної бактерійної флори). Вибір мезофільного або термофільного режиму роботи визначається аналізом кліматичних та економічних умов.

Окрім температурних умов на процес метанового зброджування і на кількість одержуваного газу впливає час обробки відходів.

Під час експлуатації реакторів конче треба контролювати показник рН, оптимальне значення якого – 6,7 – 7,6. Регулювання цього показника здійснюється через додавання вапна.

Біогаз містить 50 – 80% метану, має теплоту згорання 5 340 – 6 230 ккал/кг (6,21 – 7,24 кВт·год/кг) і може ефективно використовуватися як паливо для газогенераторів і газотурбін з ККД до 80%, для подальшого вироблення електрики (33%) або тепла (50%).

Мікробіологічні технології користаються зі здатності метанових бактерій розщеплювати в без кисневому середовищі органічні речовини рослинного походження й утворювати з них біогаз. З однієї тонни сухих органічних речовин метанові бактерії продукують 200 – 600 м<sup>3</sup> біогазу, що еквівалентно енергоємності 0,5 – 0,6 кг бензину або 0,77 кг у. п. (тобто 5 – 6 кВт·г електроенергії).

У процесі мікробіологічної переробки відходів, використовуваних як дешева енергохімічна сировина шляхом розщеплювання, не забруднюється довкілля, оскільки створюється замкнутий кругообіг речовин й енергії. При цьому досягають 90% ступеня перетворення енергії органічних відходів на біогаз. Це в 3–4 рази перевищує даний показник, що його дістають під час спалювання рослинного палива в печах.

Сучасні біогазові установки мають найрізноманітніші розміри: від малих, продуктивністю 3 – 8 м<sup>3</sup> до середніх (25 – 170 м<sup>3</sup>) і великих (250 – 500 м<sup>3</sup> та більше).

Провідне місце у виробництві біогазу посідає Китай, де будівництво невеликих біогазових установок почалося з 70-х років ХХ ст. Щороку тут виробляли до 1 млн. установок і до 1996 р. їх налічувалося вже понад 17 млн. (об'ємом 8 – 10 м<sup>3</sup>). У Китаї також побудовано більше як 40 000 великих біогазових агрегатів, а це дає змогу переробляти до 230 млн. т відходів на рік і при цьому продукувати близько 110 млрд. м<sup>3</sup> газу, що еквівалентно використанню природного газу в Україні. До початку ХХІ ст. кількість біогазових установок у Китаї перевищила 30 млн. Вони перероблятимуть близько 1 млрд т відходів, продукуючи до 500 млрд. м<sup>3</sup> газу, що дорівнює 350 млн. т у. п.

Друге місце за показниками розвитку біоенергетики належить Індії – більше 1 млн. біогазових установок. Швидкому розповсюдженню біотехнології в Китаї та Індії сприяло те, що держава надала субсидії й пільги на придбання будівельних матеріалів для спорудження біогазових установок.

Батьківщиною першого промислового метантенка є Англія. Тут біогазові установки досить ефективно використовують у сільському господарстві: ще 1990 року за допомогою біогазу були покриті всі енерговитрати в сільському господарстві. У Лондоні функціонує один з найбільших у світі комплексів з переробки побутових стічних вод і виробництва біогазу – до 92 млн. м<sup>3</sup> на рік.

Цікаво, що, за відомостями американських фахівців, у населення сільськогосподарських районів США останніми десятиліттями зростає інтерес до використання дров як палива. З 1974 по 1985 р. було продано близько 11,5 млн. дров'яних печей, у 1982 – 1983 рр. – ще 2,7 млн. За цей період збільшилися і масштаби спалювання деревини в промисловості (з 59

млн. т у 1969 р. до 81 млн. т у 1981 р.). Ідеться здебільшого про відходи паперової, целюлозної, деревообробної промисловості та лісопродукти.

Паливо для дров'яних печей екологічно є досить чистим, його потенційна енергія велика. Воно не зменшує ресурсів лісу, якщо виробляється з відходів лісопромисловості, з повалених дерев, з продуктів розчищення лісу.

Якщо ж на паливо вирубують гарні лісові масиви і при цьому не відновлюють лісовий фонд, то природі завдається непоправної шкоди. Звичний хвойний, хвойно-буковий або хвойно-дубовий ліс відновлюється через 25 – 100 і більше років. Швидкоросла тополя, західний і кленолистий каштан, що дає високі врожаї, можуть допомогти розв'язати проблему швидшого відновлення лісових масивів, але далеко не скрізь.

Використання органічних відходів має потрійний позитивний ефект: дає енергію, зменшує кількість відходів, сприяє збереженню довкілля. Тому в ряді країн інтерес до біомаси зріс не тільки як до палива, а і як до сировини, що з неї можна виробляти паливний спирт для автомобілів. У Бразилії понад 2 млн. автомобілів працюють на гідролізному спирті, 8 млн. – на суміші бензину і спирту (спирту – до 20%). Цей досвід усе більше поширюється в США, Швеції, Кенії, Зімбабве, Малайзії, на Філіппінах.

Водночас зростання інтересу до біомаси як до палива за рахунок використання тих її ресурсів, які можуть бути продуктами харчування (зерно, цукрова тростина та ін.), спричинило соціальні конфлікти в Бразилії та США.

Досвід останніх років показує, що можливості сільськогосподарських культур як потенційного палива насправді обмежені (вони в декілька разів менші, ніж у лісів). Відтак, учені розробили технології комплексного використання біомаси, коли корма, продовольство і паливо виробляють у розумних співвідношеннях, послуговуючись принципами багатогалузевого сільського господарства та рециркування побічних продуктів і відходів.

У країнах СНД переробку біомаси в паливо здійснюють за трьома напрямками:

- біоконверсія – розкладання органічних речовин рослинного або тваринного походження без доступу повітря завдяки спеціальним видам бактерій та, як наслідок утворення біогазу (метану) або/і рідких палив (етанолу, бутанолу й ін.). Одержання теплової енергії у процесі мікробіологічного окиснення аероба органічних речовин (біопідігрів, компостування городних і садових відходів) також належать до цього напрямку;

- термохімічна конверсія (піроліз, газифікація, синтез) твердих органічних речовин (дерево, торф, вугілля) у метанол, штучний бензин, деревне вугілля, що її частіше називають термічною газифікацією. Вона вірогідно є процесом нагрівання біомаси в камері з контрольованою подачею повітря. При цьому виділяються леткі гази, що є основою твердої біомаси (соломи, деревини тощо). Так, під час газифікації деревини утворюються: азот – 50 – 54%, оксид вуглецю – 20 – 22%, водень – 12 – 15%, двоокис

вуглецю – 9 – 12%, метан. Паливо перетворюється на газ у результаті хімічних процесів: висушування, піролізу, спалювання (окиснення), і відновлення. На рис. 4.9 показана схема противоточної газифікації, основні хімічні реакції й потоки, рівні температур та зони реакцій;

- спалювання відходів (макуха, щепи, лігнін та ін.) у котлах спеціальної конструкції, в печах, на вогнищах. До цього напряму належить і спалювання дров у побутових печах.

Найперспективнішим та екологічно безпечним вважають перший напрям – біоконверсію. Вона передбачає значне скорочення відходів тваринництва, птахівництва і, відтак, менше забруднення ними ґрунту, води, повітря, оскільки ці відходи цілком ідуть на переробку. У процесі біоконверсії одержують високоякісні добрива, адже під час анаеробного зброджування азот і фосфор у гної зберігаються повністю, а за традиційного вивезення гною на поля втрачають до 30 – 40%. Біоконверсія дає також якісні кормові добавки і препарати.

Темпи розробки і впровадження біоенергетичних установок (БЕУ) у Україні набагато відстають від Китаю, Індії та Англії. За найефективніші вважають великі БЕУ (об'єм біореактора 6000 м<sup>3</sup>), які нині працюють у Пярну (Естонія), де переробляються відходи свинарського комплексу на 54 000 голів, і БЕУ (з об'ємом біореактора 150 м<sup>3</sup>, потужність ферми – 3 000 голів), що діють у Латвії. З 1985 р. серійно виробляють БЕУ «Кобос-1», призначені для ферм з кількістю рогатої худоби 400 – 500 голів.

У комплект «Кобос-1» входять: подрібнювач гною, підігрів-видержувач об'ємом 25 м<sup>3</sup>, два горизонтальні метантенки (по 125 м<sup>3</sup>), газгольдер, водогрійний котел, насоси, теплообмінники, система контролю й управління процесом, трубопроводи, допоміжна арматура. БЕУ видає біогаз з теплотою згорання 14 650 – 25 100 кДж/м<sup>3</sup> (92 – 96 тис. кДж/кг). 25 – 40% газу використовують для потреб самої БЕУ, решту – для потреб господарства. На кращих зарубіжних БЕУ “зайвий” газ застосовують для роботи дизель-генератора.

Принцип роботи «Кобос» є таким: подрібнену біомасу з початковою вологістю 95 – 98% нагрівають, витримують 1 добу, потім подають в один з метантенків, де підтримується температура 42 – 43°C і знижений тиск (300 – 500 мм водного стовпчика). Добова частка завантаження становить приблизно чверть об'єму одного метантенка.



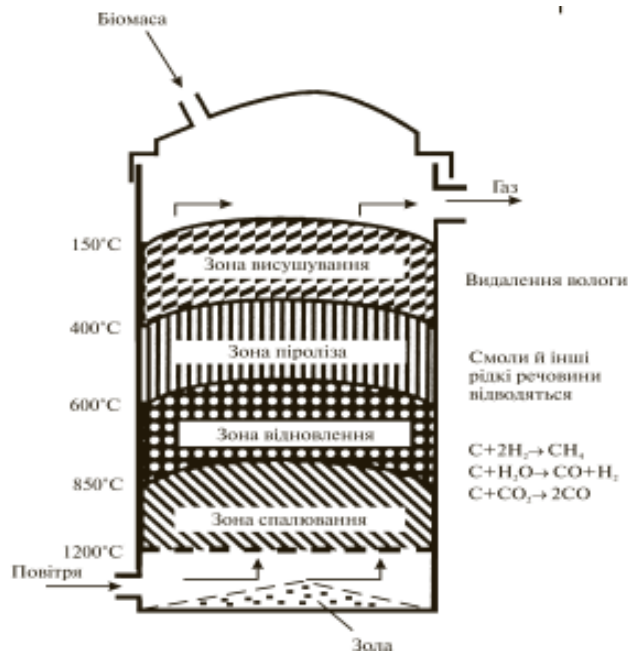


Рис.4.9 – Схема протитечійної газифікації із зонами реакцій

Основною причиною досить повільного впровадження БЕУ у виробництво й використання їх в агропромислових комплексах СНД є цілковитий брак державної підтримки підприємствам, що виготовляють такі установки, надто висока ціна на них і відсутність пільг на придбання та експлуатацію БЕУ. Цим країни СНД відрізняються від, скажімо, Сполучених Штатів чи Китаю.

Проте за розмаїттям, ефективністю та оригінальністю останні розробки БЕУ в Росії й Україні (1992 –1998 рр.) є цілком конкурентоспроможними. Є установки для інтенсивного вирощування мікродоростей і їхньої переробки на гліцерин та рідкі вуглеводні (розробник – Московський державний університет).

Розроблено проекти комплексів на базі ставків-охолоджувачів атомних і теплових електростанцій, які виробляють рідке паливо й поставляють рибу; розроблено біореактори для індивідуальних невеликих господарств (об'єм метантенка 3 м<sup>3</sup>) і дачних ділянок (розробка Київського інституту УкрНДІАгропроект). Ще з 1965 р. біля Києва в с. Бортничі діє біоустановка, що виробляє близько 10 млн м<sup>3</sup> біогазу на рік з осадів стічних вод Києва. Аналогічні установки функціонують у Харкові, Одесі, Кривому Розі.

Розрахунки підтверджують доцільність прискореного розвитку біоенергетики як з економічного, так і з екологічного поглядів.

## 4.5. Інші нетрадиційні природні джерела енергії

### 4.5.1. Геотермальна енергія

Геотермальна енергія – це енергія тепла, яка виділяється із внутрішніх зон Землі впродовж сотень мільйонів років. За даними геолого-геофізичних

досліджень, температура в ядрі Землі досягає 3 000 – 6 000°C, поступово знижуючись у напрямку від центру планети до її поверхні. Виверження тисяч вулканів, рух блоків земної кори, землетруси свідчать про дію могутньої внутрішньої енергії Землі. Учені вважають, що теплове поле нашої планети зумовлено радіоактивним розпадом у її надрах, а також гравітаційною сепарацією речовини ядра.

Головними джерелами розігрівання надр планети є уран, торій і радіоактивний калій. Процеси радіоактивного розпаду на континентах відбуваються, здебільшого, у гранітному шарі земної кори на глибині 20 – 30 і більше км, в океанах – у верхній мантії. Припускають, що в підшві земної кори на глибині 10 – 15 км імовірно значення температур на континентах дорівнює 600 – 800°C, а в океанах – 150 – 200°C.

Людина може використовувати геотермальну енергію тільки там, де вона виявляє себе близько до поверхні Землі, тобто в районах вулканічної та сейсмічної активності. Нині геотермальну енергію ефективно використовують такі країни, як США, Італія, Ісландія, Мексика, Японія, Нова Зеландія, Росія, Філіппіни, Угорщина, Сальвадор. Тут внутрішнє земне тепло підіймається до самої поверхні у вигляді гарячої води й пари з температурою до 300 °C і часто виривається назовні як фонтануючі джерела (гейзери), приміром, знамениті гейзери Єллоустонського парку в США, гейзери Камчатки, Ісландії.

Геотермальні ресурси підрозділяють на суху гарячу пару, вологу гарячу пару і гарячу воду. Сverdловину, яка є важливим джерелом енергії для електричної залізниці в Італії (поблизу м. Лардерелло), з 1904 р. живить суха гаряча пара. Два інші відомі в світі місця з гарячою сухою парою – поле Мацукава в Японії та поле гейзерів біля Сан-Франциско, де також давно й ефективно використовують геотермальну енергію. Найбільше в світі джерело вологої гарячої пари знаходиться в Новій Зеландії (Вайракей), геотермальні поля трохи меншої потужності – у Мексиці, Японії, Сальвадорі, Нікарагуа.

Таким чином, можна виокремити чотири основні типи ресурсів геотермальної енергії:

- поверхнєве тепло землі, використовуване тепловими насосами;
- енергетичні ресурси пари, гарячої й теплої води біля поверхні землі, які нині використовують у виробництві електричної енергії;
- теплота, зосереджена глибоко під поверхнею землі (можливо, за відсутності води);
- енергія магми і теплота, що накопичується під вулканами.

Запаси геотермальної теплоти (~8·10<sup>30</sup>Дж) у 35 млрд. разів перевищують річне світове споживання енергії. Лише 1 % геотермальної енергії земної кори (глибина 10 км) може дати кількість енергії, що в 500 разів перевищує всі світові запаси нафти й газу. Проте сьогодні може бути використана лише незначна частина цих ресурсів, і це зумовлено насамперед економічними причинами.

Початок промислового освоєнню геотермальних ресурсів (енергії

гарячих глибинних вод і пари) було покладено 1916 року, коли в Італії ввели в експлуатацію першу геотермальну електростанцію потужністю 7,5 МВт. За час, що минув, накопичено чималий досвід у сфері практичного освоєння геотермальних енергоресурсів. Загальна встановлена потужність діючих геотермальних електростанцій (ГеоТЕС) дорівнювала: 1975 р. – 1278 МВт, 1990 року – 7300 МВт. Найбільшого прогресу в цьому питанні досягли США, Філіппіни, Мексика, Італія, Японія.

Техніко-економічні параметри ГеоТЕС змінюються в досить широких межах і залежать від геологічних характеристик родовища (глибини залягання, параметрів робочого тіла, його складу тощо). Для більшості введених в експлуатацію ГеоТЕС собівартість електроенергії є подібною до собівартості електроенергії, одержуваної на вугільних ТЕС, і становить 1200...2000 дол. США/кВт.

В Ісландії 80% житлових будинків обігривається за допомогою гарячої води, добутої з геотермальних свердловин під містом Рейк'явік. На заході США коштом геотермальних гарячих вод обігривають близько 180 будинків і ферм. На думку фахівців, між 1993 і 2000 рр. глобальне вироблення електрики за допомогою геотермальної енергії мало зрости більш ніж удвічі й бути використане в 40 країнах. Запасів геотермального тепла в США існує так багато, що воно може, теоретично, давати в 30 разів більше енергії, ніж її зараз споживає держава.

У перспективі можливе використання тепла магми в тих районах, де вона розташована близько до поверхні Землі, а також сухого тепла розігрітих кристалічних порід. В останньому випадку свердловини бурять на кілька кілометрів, закачують униз холодну воду, а назад одержують гарячу.

За допомогою геотермальних ресурсів електрику можна виробити трьома способами (рис. 4.10): А – за наявності сухої пари, її можна примусити безпосередньо обертати турбіну; Б – за наявності перегрітої води, частини струменя гарячої води під тиском виходять на поверхню і перетворюються на вологу пару, яку після сепарації крапель води спрямовують на обертання турбіни; В – використання бінарного циклу: нагрівання робочої рідини (ізобутану або фреону) до пароподібного стану й обертання турбіни за допомогою одержаної пари.

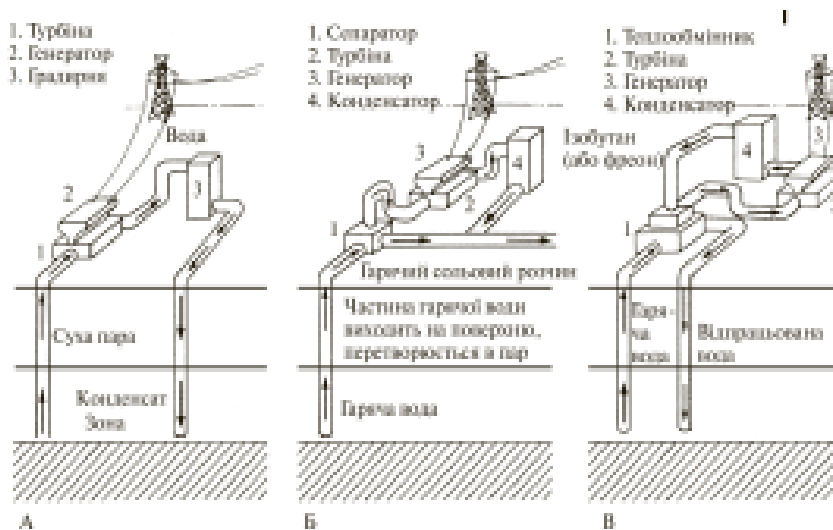


Рис. 4.10 – Виробництво електроенергії

Якщо неможливо прямо використати пару з огляду на агресивність води, гідротермальну енергію віддають теплоносієві за допомогою пароутворення і водяного теплообмінника (рис. 4.11).

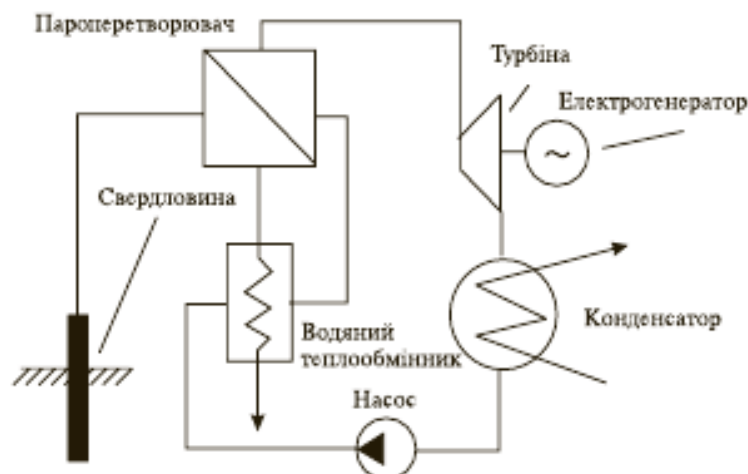


Рис. 4.11 – Принципова схема геотермальної електростанції

Найбільша електростанція в світі, яка працює на вологій парі, розташована в Новій Зеландії (Вайракей). З 1958 року вона виробляє до 192 МВт на рік. У США перша електростанція, що працює на гарячій вологій парі, була запущена в 1980 р. (м. Бролі, Каліфорнія). Її потужність – близько 10 Мвт. В Альбукерке (м. Нью-Мексико) діє аналогічна станція потужністю 50 МВт.

У США та Японії проводили дослідження щодо використання гідротермальних вод у бінарному циклі, коли гаряча вода нагріває аж до перетворення на пару іншу рідину, що її температура кипіння є нижчою, ніж у води (наприклад, ізобутан). Пара другої рідини обертає турбіну й після охолодження повертається до теплообмінника для нового скипання і роботи.

Геотермальний потенціал США, Японії, Італії, Ісландії, Російської Камчатки, Сахаліну є досить великим.

Україна також має значні ресурси геотермальної енергії, потенційні запаси якої оцінюють у 1022 Дж. Це відповідає запасам  $3,4 \cdot 10^{11}$  т у. п. Потенційна потужність ГеоТЕС з урахуванням вилучності запасів і ККД перетворення енергії становить 230 ГВт.

Пріоритетними районами, де щонайперше слід розпочати будівництво є Керченський півострів, Прикарпаття (Львівська область), окремі родовища в Харківській, Полтавській і Донецькій областях. Значними ресурсами геотермальної енергії наділено Крим, де спостерігають найбільші геотермічні градієнти, а температура гірських порід в окремих районах на глибині 3,5...4 км сягає 160...180°C.

У центральній частині України тільки на глибині 1 400 м можна віднайти води з температурою вище 20°C. Проте у зв'язку з малим дебітом вони не мають практичного значення. Частково термальні води України використовують для систем геотермального постачання тепла в різні об'єкти агропромислового комплексу. Особливий інтерес у цьому плані становлять термальні води Криму. За попередніми оцінками, використання потенціалу самого лише Сивашського водосховища з температурою 65°C дасть змогу заощадити 1 млн. т у. п. Наявність у Закарпатті зон з температурою води 200°C і пластовим тиском 45 МПа на глибині 4 тис. м ініціювала дослідження щодо використання тепла сухих гірських порід і будівництво Закарпатської ГеоТЕС.

Інститут технічної теплофікації НАН України розробив систему геотермального теплоносія (рис.4.12), що має такі показники:

- теплова потужність модуля, МВт – 5;
- зокрема: теплопостачання, МВт – 3;
- гаряче водопостачання, МВт – 2;
- температура води на виході зі свердловини, °C – 60 – 80;
- температура в опалювальній системі, °C – 50;
- тиск води у свердловині, МПа – не <1,5;
- габарити будівлі –  $6,5 \times 15 \times 6$

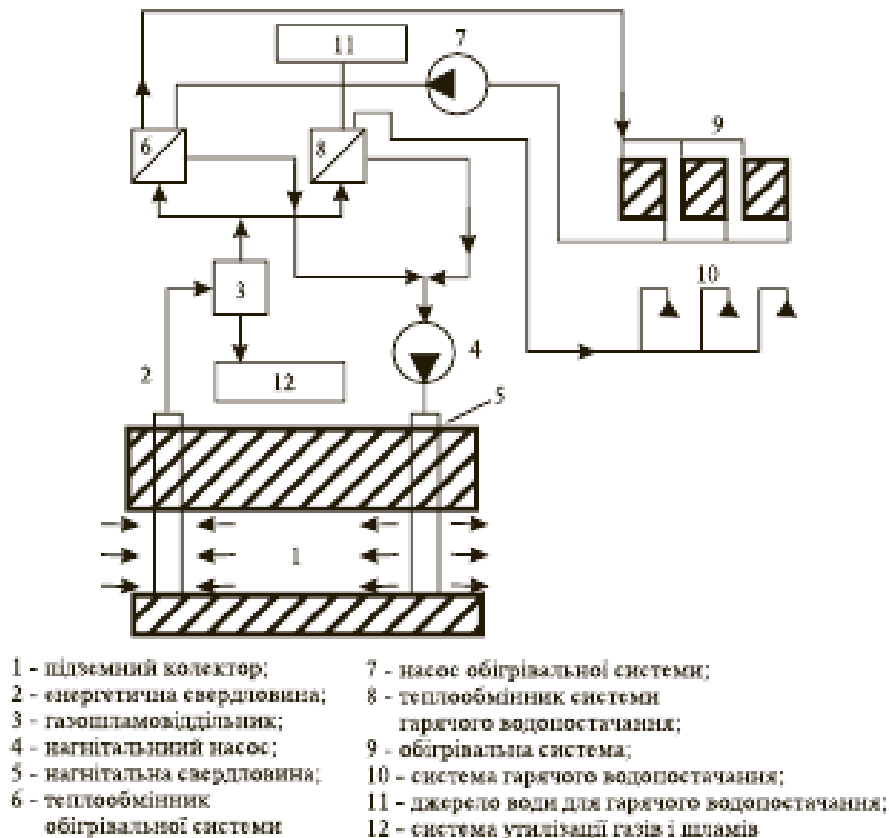


Рис. 4.12 – Схема системи геотермального енергопостачання

Сумарна потужність ГеоТЕС України, що їх планують збудувати, становить: 2000 р. (уведення в експлуатацію) – 60 МВт, 2005 р. – 270...280 МВт, а 2010 р. – 620...650 МВт. Економія органічного палива за експлуатації ГеоТЕС має дорівнювати: у 2000 р. – 150 тис. т у. п., 2005 р. – 460 тис. т у. п., 2010 р. – 1 млн. т у. п.

З представлених даних видно, що залучення геотермальних джерел до системи енергопостачання сприяє поліпшенню паливно-енергетичного балансу, а також зниженню негативного впливу традиційної енергетики на екологічну обстановку, зокрема найбільш напружених регіонів України.

Фахівці підраховали, що для забезпечення електроенергією міст із населенням 1 млн. осіб потрібна геотермальна електростанція потужністю 1 000 МВт. Проте будівництво геотермальних електростанцій може мати серйозні несприятливі наслідки, перш за все екологічні (теплове, сольове, газове забруднення довкілля).

#### 4.5.2. Енергія світового океану

Ще 20 років тому російські вчені підраховали: якщо ефективно використовувати енергію, що міститься у Світовому океані, то можна розв'язати енергетичну проблему нашої цивілізації на найближче сторіччя, бо в океанських хвилях, течіях, припливах і відпливах, у температурних полях приховані величезні запаси енергії. Проблема полягає у тому, що

добувати цю енергію і трансформувати її в електрику поки що дуже складно і дорого, з технічного боку.

Нині виокремлюють п'ять основних відновлюваних джерел енергії Світового океану: течії (потенційний запас енергії – близько 0,05 ТВт (тобто  $0,05 \cdot 10^{12}$  Вт); хвилі – 2,7 ТВт; припливи – 0,03 ТВт; температурний градієнт – 2,0 ТВт; градієнт солоності – 2,6 ТВт. Нагадаємо, що сумарна потужність усіх електростанцій земної кулі становить приблизно 1 ТВт (на сьогодні). До початку XXI ст. найефективніше навчилися використовувати хіба що енергію припливів.

Припливні електростанції (ПЕС). Енергію припливів використовували задовна, про це свідчать припливні млини, споруджені на узбережжі Англії, Франції, Іспанії, Росії, Канади, США тощо.

Відомий Вудбріджський млин побудовано ще в XII ст.

Ці млини споруджували таким чином: перекидали закатами невеличкі бухти, внаслідок чого утворювався спеціальний басейн, і розміщували в ньому млинові колеса, які досягали 6 м у діаметрі й рухалися в період відпливу. В Англії така установка, розташована під арками Лондонського моста, від 1580 р. протягом 250 років качала прісну воду для потреб міста.

Особливістю припливних електростанцій є використання ними природно відновлюваної енергії морських припливів, природа яких пов'язана з припливотворною силою, що виникає під час гравітаційної взаємодії Землі з Місяцем і Сонцем. Для водної оболонки Землі практичне значення має лише горизонтальна складова припливотворної сили. Оскільки Місяць є ближчим до Землі, розмір припливу, зумовленого його дією, в 2,2 рази більший від сонячного. На узбережжі морів та океанів найчастіше трапляється півдобовий приплив, себто за місячну добу (24 г 50 хв.) максимальна хвиля припливу надходить двічі.

Величину припливу  $A$  визначає різниця в рівнях води під час максимального підйому і мінімального зниження за період припливу. Максимальне відхилення від середнього рівня моря називають амплітудою припливу, і вона дорівнює  $0,5 A$ . Амплітуди і форми припливно-відпливних хвиль на різних узбережжях Світового океану істотно відрізняються, а це пов'язано з такими чинниками, як глибини, конфігурація берегової лінії та ін.

Нерівномірність припливних коливань протягом місячного місяця характеризується зміною величини припливу від Амакс (сизигія) до Амін (квадратура). Закономірність зміни припливів усередині місяця, викликана рухом Місяця і Сонця, залишається практично незмінною для всіх місячних місяців року. Середнє значення величини припливу для всіх однойменних діб місячного місяця також є практично незмінною в річному й багаторічному розрізах. Енергія припливної хвилі вірогідно є функцією від величини припливу. Відмітною особливістю припливної енергії постає незмінність величини середньомісячної енергії для будь-якого року.

Величини припливів на морських узбережжях є різними. Так, максимальну величину припливу, що становить Амакс = 19,5 м,

спостерігали в Канаді в затоці Фанді на узбережжі Атлантичного океану; Амакс = 16,3 м – у Англії у гирлі р. Северн, Амакс = 14,7 м – на півночі Франції, Амакс = 11,0 м – у Росії в Пенжинській затоці Охотського моря.

Для створення ПЕС необхідні сприятливі природні умови, які включають: великі припливи ( $A > 3 - 5$  м); контур берегової лінії (бажано з утворенням затоки), який дає змогу відділити від моря басейн для роботи ПЕС за мінімальної довжини і висоти загати, сприятливі геологічні умови для будівництва.

Енергетичні параметри ПЕС із півдобовим припливом визначають як:

$$E = 1,97 A^2 c_p F, N = 225 \cdot 10^{-6} A^2 c_p F,$$

де  $E$  – вироблення енергії, кВт·г на рік;

$N$  – середня потужність, кВт;

$A_{cp}$  – середньоквадратична амплітуда за місячний місяць, м;

$F$  – середня площа поверхні басейну в межах припливних коливань рівня, м<sup>2</sup>.

Реальні умови створення і заповнення басейну протягом тривалого часу за умов перепадів, менших від  $A_{cp}$  істотно відрізняються від ідеальних, а фактичні величини  $N$  і  $E$  будуть меншими в 2–4 рази порівняно з одержаними відповідно до наведеної формули.

Загальний потенціал припливної енергії в усьому світі за потужністю оцінюється орієнтовано в майже 1 млрд. кВт, а за виробленням енергії у 1 240 млрд. кВт·г.

У Франції в естуарії р. Ранс, (м. Сен-Мало) з 1967 р. працює припливна електростанція потужністю 240 МВт (висота припливу 10 м), яка виробляє 60 МВт енергії, в Росії з 1968 р. діє Кислогубська ПЕС потужністю 0,4 МВт, у Канаді з 1984 р. – ПЕС Аннаполіс потужністю 20 МВт тощо.

Припливні електростанції можна спорудити лише в 24 точках світу, тобто цей енергоресурс досить обмежений. Мова йде про деякі райони Ла-Маншу, Ірландії, узбережжя Північної Америки, Австралії, кілька ділянок узбережжя Білого й Баренцового морів.

Найбільші перспективи для спорудження припливної електростанції має узбережжя Канади в затоці Фанді, де висота припливу досягає 16,2 м (можлива потужність – близько 3 800 МВт). Американські вчені вважають, що в океані міститься близько 3 ТВт енергії припливів, але тепер практично можна використовувати лише приблизно 0,03 ТВт.

За цілком можливе визнають використання океанських течій (Гольфстрім в Атлантиці, Куросіо в Тихому океані), швидкість яких становить 1 – 2,5 м/с, а теоретична потужність – від 15 ГВт (Гольфстрім) до 50 ГВт (Куросіо). Припускають, що загальна потужність океанських течій дорівнює не менше 100 ГВт.

Найперспективнішим і найліпше освоєним джерелом океанської енергії постає, енергія градієнта солоності, тобто енергія, що виділяється в процесі змішення солоних морських вод із прісними дощовими й річковими водами. Різниця осмотичного тиску між прісною і солоною водою становить близько



24 кг/см<sup>2</sup>, що за концентрації енергії еквівалентно тиску стовпа 240 м заввишки. Натомість у Мертвому морі, де вода є суперсолонюю, концентрацію енергії градієнта солоності можна порівняти з тиском водяного стовпа 5 000 м заввишки. Запаси цієї енергії визначають за швидкістю випаровування води з поверхні океану й подальшого її випадання назад в океан. З поверхні океану за рік випаровується шар води 1,3 м завтовшки. Об'єм води (Q), що випаровується, становить  $1,2 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup>/с. За осмотичного тиску  $\pi = 24 \cdot 10^4$  кг/м<sup>2</sup> потужність цього джерела енергії визначають як

$$P = \pi \cdot Q = 30 \text{ ТВт.}$$

Оскільки багато великих міст розташовано в гирлах річок, використання градієнтів солоності як джерела енергії має неабиякі перспективи.

Теплова енергія океану (температурний градієнт) у майбутньому також може ефективно використовуватися за допомогою термоелектричних генераторів, що працюють на перепадах температур. Різниця температур поверхневих і глибинних вод є особливо присутньою в районах теплих течій і може досягати 20 – 22°C.

Першими теплову енергію океану запропонували використовувати французькі науковці. 1881 року за проектом фізика Д'Арсонваля на Кубі, в затоці Матансас, сконструювали й апробували океанську теплову енергетичну станцію (ОТЕС)). У 1929 р. учень Д'Арсонваля Жорж Клод створив іншу систему і випробував її, але незабаром станцію було зруйновано.

Робота ОТЕС ґрунтується на принципі поперемінного використання шарів води з різною температурою для кип'ятіння і конденсації робочої рідини, наприклад, рідкого аміаку або пропано-фреону, коли в проміжках пара цієї рідини має обертати турбіну при високому тиску (рис. 4.13). Теплу поверхневу воду застосовують для перетворення робочої рідини на пару, що обертає турбіну з електрогенератором. Для конденсації пари в іншому теплообміннику використовують подану насосами холодну воду з глибини океану. Конденсована рідина далі знову подається в перший теплообмінник, нагрівається, перетворюється на пару – і цикл повторюється, йде безупинне вироблення електроенергії. Оскільки процес відбувається в морі, проблемою може стати прокладання й утримання електрокабелів на дні океану, а також те, що труба для станції потужністю, наприклад, 10 МВт має бути занурена на декілька сотень метрів углиб океану, а її діаметр – становити близько 15 м. Утримати такий агрегат у стійкому положенні, захистити його від поштовхів і тиску хвиль і течій буде досить складно.

Проте в США впродовж останніх десятиліть ведуться серйозні дослідження з розробки і вдосконалення різних океанських теплових енергетичних станцій. Два експериментальні проекти пристрою ОТЕС-1 (Ocean Thermal Energy Conservation) діють із 1982 р. в районі Гавайських островів. Один із пристроїв змонтовано на колишньому танкері ВМС США

“Чепачет”; він має потужність 1 МВт, складається з трьох трубопроводів холодної води (діаметром – 1,2 м), що підіймають воду з глибини 640 м, і насосної групи. Розроблено ще декілька проектів ОТЕС: установка біля м. Кіс-Уест (Флорида) для вироблення 50 МВт електроенергії та 2 млн. л прісної води щоденно; установка поблизу о. Оаху (Гаваї) потужністю 40 МВт й інші, потужністю від 12,5 до 400 МВт. Якщо на дослідження і проектування у сфері ОТЕС 1972 р. в США було виділено 85 тис. дол., то вже 1980 року – 46 млн. дол. До кінця ХХ ст. США планували створити 25 установок ОТЕС потужністю 400 МВт кожна.

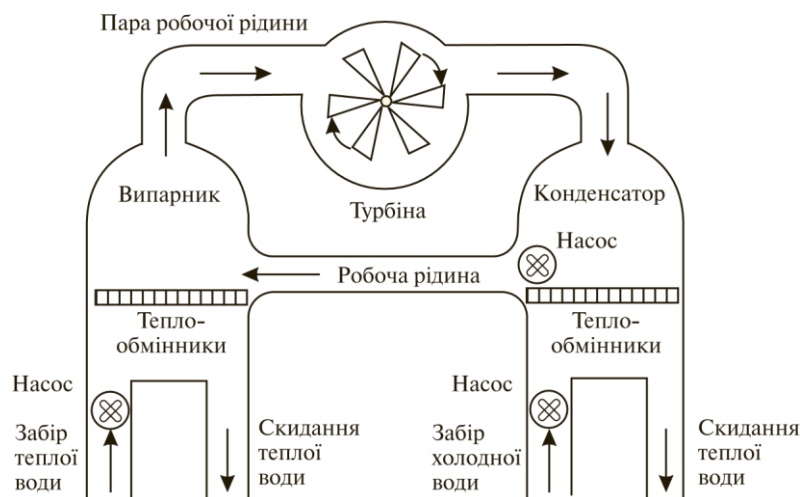


Рис. 4.13 – Схема океанічної термоенергетичної установки із замкнутим циклом

Існує думка, що на базі ОТЕС можуть бути створені плавучі заводи з енергоємними електрохімічними процесами – виробництвом аміаку, алюмінію, водню, кисню, метанолу.

Окрім США, роботи зі створення ОТЕС проводяться в Японії, Великобританії, Індії, а також, у рамках європейської програми «Євроушен», 26 компаніями Франції, Нідерландів, Швеції та Італії.

У країнах СНД, порівняно зі згаданими державами, масштаби досліджень у галузі створення і використання ОТЕС видаються дуже скромними.

Функціонування ОТЕС спричинює негативні екологічні наслідки, серед яких можна назвати: неспокій, перешкоди, а іноді й руйнівний вплив станцій, устаткування, трубопроводів та електропроводів, якщо їх скупчено в місцях мешкання людей чи на шляхах міграції риб та інших гідробіонтів у шельфових зонах океанського узбережжя, забруднення водного середовища побутовими відходами електрокомплексу; станції не займають землі на суходолі, але охоплюють значні площі в морі, і це дається взнаки там, де життя в прибережній зоні активне й багатоманітне.

Нарешті, для виробництва електроенергії може бути використана енергія океанських хвиль.

За підрахунками фахівців, в океанських хвилях міститься близько 3 ТВт енергії. Пересічна хвиля Північного, Японського морів або Біскайської затоки містить 40 кВт енергії на кожен літр. Але таких районів, де хвилі активні і їх можна ефективно використовувати для перетворення на електроенергію, у Світовому океані є обмаль – біля берегів Англії, Японії, Камчатки, дещо менше – в Чорному морі. Енергозапаси хвиль оцінюють на підставі багатьох вимірювань параметрів хвилювання за допомогою спеціальних приладів – хвилеграфів.

Океанографи Росії та США, побувавши в морських експедиціях, дістали підтвердження фактам, на які зважили стародавні мореплавці, зокрема Джеймс Кук, а саме, що висота штормових хвиль у Північній Атлантиці може досягати 20 – 25 м. Іноді моряки (танкер «Романо», США, 1933 р.) стикалися з хвилями 36 м заввишки! Такі хвилі, згідно з підрахунками проф. Н. В. Вершинського, на 1 м свого фронту містять до 70 МВт енергії, тобто власне стільки, скільки виробляє середня електростанція.

Для Чорного моря питома потужність становить 8, для Каспійського – 11, Баренцового – 29, Охотського – 20, Балтійського – 8 кВт/м. Новітні методи вимірювань параметрів хвиль, окремо за допомогою стереофотозйомки і дистанційної зйомки, показують, що висота найбільших хвиль не перевищує 25 – 30 м в океанах і 15 – 20 м – в окремих морях.

Перший у світі патент на пристрій, що використовує енергію хвиль, здобули французи – батько і син Жерари в 1799 р. Першу діючу установку запустили американці 1889 року, на узбережжі неподалік від Нью-Йорка. Вона давала електрику для насосів, що закачували воду у водонапірну башту. До середини 20-х років ХХ ст. було зареєстровано понад 1 000 заявок на способи перетворення енергії хвиль і відповідну апаратуру, зроблено чимало доповідей і повідомлень на міжнародних конференціях.

Тепер найпоширенішим є тип хвильових електростанцій, що працюють на принципі “осцилюючий водний стовп” (автор – японський морський офіцер І. Масуда, 1965 р.). 1978 року під керівництвом І. Масуди в Японії був створений великомасштабний макет установки «Каймей». Ця установка розміщена на баржі водотоннажністю 500 т. Вона близько 80 м завдовжки і 12 м завширшки. У днищі баржі зроблено ряд отворів для проходу хвиль у 22 повітряні камери. На борту – 10 пневмохвильових електрогенераторів різних типів (8 – японських, 2 – англійських) потужністю по 125 кВт, а також двонаправлений пневмохвильовий електрогенератор «Мак-Кормік» (США, професор Морської академії М. Мак-Кормік). Нині у США ведуться інтенсивні випробування різних модифікацій установок на зразок «Мак-Кормік», аналогічні розробки мають Норвегія, Ірландія, Японія.

У колишньому СРСР перші випробування хвильових насосів було здійснено 1936 року (інж. О. Г. Блінов). Пізніше виконувалися розробки із застосуванням лінійних індукційних генераторів, гнучких оболонки, п'єзоелементів. Наразі в СНД ці роботи і випробування практично призупинені.

### 4.5.3. Енергія інших природних об'єктів

Використання водню або гелію як пального. Під тиском 10 – 20 МПа ці гази поміщаються в замкнутий простір і під час роботи у процесі нагрівання або охолодження змінюють свій об'єм, відтак чинячи тиск на поршень, який далі виконує потрібну роботу. За приклад може слугувати двигун Стерлінга (англієць Р. Стерлінг у 1816 р. створив перший двигун з незамкнутим циклом, який працює на підігрітому повітрі). Сучасний двигун Стерлінга має робочий цикл на чотири такти: стискання – нагрівання – робочий хід – охолодження, і може працювати не тільки на водні, а й на торфі, дровах, соломі тощо. Регенератор двигуна ніби розділяє його простір на дві порожнини – гарячу і холодну. До гарячої порожнини тепло підводиться від нагрівника, а від холодної відводиться охолоджувачем, у якому циркулює вода. Спеціальний ромбічний механізм перетворює обертально-поступальний рух поршнів на обертальний.

ККД двигуна близький до ККД дизеля.

У США останнім часом розробляють двигуни для автомобілів, які працюють на водні. Спеціальний акумулятор, наповнений пористими речовинами, що поглинають водень, запасає необхідну енергію. Рідкий водень у таких двигунах є заміником бензину. Після спалювання водню в кисні утворюється вода. Спеціальна камера в акумуляторі регулює витрату водню завдяки змінненню температури. Двигун є екологічно безпечним.

Припускають, що в майбутньому переведення автотранспорту й авіації на водневе паливо дасть змогу значно очистити атмосферу від CO, CO<sub>2</sub> та інших компонентів вихлопних газів, що їх викидають сучасні бензинові двигуни, а заміна звичайного горючого газу на водень розв'яже проблему тепло забезпечення міського й сільського населення. Поки що вартість використання водневих двигунів удвічі дорожча, порівняно зі звичайними, але технології їх виробництва і застосування удосконалюються і здешевлюються.

В індустріально розвинених країнах (за винятком Німеччини і Японії) під впливом могутніх нафтових і газових компаній, а також автомобільних концернів, концернів які виробляють енергію з інших традиційних джерел і для яких новий вид палива на зразок водню є небезпечним конкурентом, уряди не виділяють достатньої кількості засобів на вивчення і розвиток цього виду енергетики. Натомість у Німеччині та Японії, а також у Південній Аравії на дослідження у сфері використання водню витрачають у 8 разів більше засобів, аніж, наприклад, у США; у цих країнах побудовано заводи з виробництва водню (геліоводневі заводи).

В Україні роботи в цьому напрямку започатковані ще у 70-ті роки ХХ ст. академіком Підгорним А.М., ведуться в Інституті проблем машинобудування НАН України (м. Харків)

Фахівці прогнозують, що в найближчі 40–50 років відбудеться геліо-воднева революція, наслідком якої стане активний перехід енергетичних компаній на водневе паливо – екологічно безпечне, практично невичерпне і

наділене низкою інших переваг, а також перехід на водневі суміші типу гітану ( $H_2+CH_4 - 15$  і  $85\%$  відповідно).

Одним із проектів, розроблених в Австрії, передбачено використання енергії, захованої в льодовиках Гренландії. Зачорнюю чи поверхню льоду, досягають його інтенсивного танення. Це змінює тепловий баланс, оскільки збільшується поглинання сонячного світла. Електроенергія, що виробляється при цьому, передаватиметься на континент підводними кабелями і застосовуватиметься для одержання водню з води шляхом електролізу.

Штучний місяць. Нині вчені впритул наблизилися до практичного втілення фантастичної ідеї – створення космічних рефлекторів, що відкидають на Землю сонячне світло. Уперше цю ідею висловив німецький учений Г. Оберт 1929 року.

Так звані штучні місяці можуть по-різному бути застосовані в народному господарстві. Виведені на орбіту штучного супутника Землі, такі рефлектори зможуть подовжити світловий день на кілька годин, а це сприятиме підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Супутники-рефлектори здатні забезпечити високоякісне освітлення вулиць великих міст, транспортних магістралей, місць, де ведуться роботи в нічний час, наприклад великих будівництв, колгоспних і фермерських полів у період посівної і збиральної кампаній, районів стихійного лиха під час рятувальних операцій.

У загальних рисах дослідники вже розробили майбутній вигляд орбітальних освітлювальних систем. Такі системи нагадують упаковану парасольку, що автоматично розкривається після доставки на орбіту. Поверхнею, що відображає світло, стане, ймовірно, полімерна металізована плівка. За належної організації наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт перші зразки космічних рефлекторів можуть бути створені в найближчому десятилітті.

У Московському авіаційному інституті ім. С. Орджонікідзе створюють проект орбітального експерименту із супутником рефлектором масою не більше 200 кг і площею 110 м<sup>2</sup>. Такий експеримент має на меті перевірити технічні рішення, закладені в основу побудови космічного рефлектора майбутнього. Освітленість на наземному приймачі діаметром 10 км має бути в 7 разів інтенсивнішою, ніж уночі; коли світить повний місяць (близько 1,5 лк). Уже створено експериментальні наземні установки, що демонструють процеси розкриття супутника-рефлектора й управління формою його поверхні.

Утім, одночасно з розробками необхідно вивчати екологічні наслідки застосування космічних рефлекторів і виробити рекомендації щодо їхнього раціонального використання.

Існують проекти стосовно використання енергії блискавок, магнітного поля Землі, застосування для вироблення електрики сірководню, що у величезних кількостях міститься в так званій сірководневій зоні Чорного моря (пересічно від 150 м углиб і до самісінького дна). Але всі вони поки що

далекі від реалізації в таких масштабах, як геліоенергетика, вітроенергетика, біоенергетика або енергія океану.

### **Запитання і завдання для самоперевірки**

1. Які Ви знаєте відновлювальні джерела енергії?
2. Які відомі потенційні запаси енергії на Землі?
3. Загальні принципи генерації геліоенергетики.
4. Принципи перетворення сонячної енергії в теплову.
5. Закономірності перетворення сонячної енергії в електричну.
6. Перспективи розвитку вітроенергетики та малої енергетики.
7. Фізичні принципи біоенергетики.
8. Потенційні запаси енергії світового океану.
9. Перспективи розвитку ядерної енергетики.
10. Можливості термоядерного синтезу.
11. Використання енергії внутрішнього тепла Землі.
12. Програма використання енергії малих річок.
13. Фотовольтажка – її розвиток та використання в комунальній енергетиці.
14. Системи активного геліообігріву та їх роль в автономному енергозабезпеченню.
15. Фізичні основи використання кристалічного кремнію в сонячних елементах.
16. Якісні характеристики фотосинтезу.
17. Потенціал біоенергетики та програма суттєвого зменшення викидів CO<sub>2</sub>.
18. Енергетичний потенціал біомаси на Україні і його роль в енергетичній незалежності держави.
19. Робочий цикл двигуна Стерлінга та перспективи його використання в автономному енергозабезпеченню.

## РОЗДІЛ 5

### ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

#### 5.1. Класифікація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР)

Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) – енергетичний потенціал продукції, побічних і проміжних продуктів, що утворюється в технологічних агрегатах (установках) і втрачається в самому агрегаті, але його можна частково або цілком використати для енергопостачання інших споживачів. Рациональне використання ВЕР є одним з найбільших резервів економії палива, що сприяють зниженню паливо- й енергоємності промислової продукції. Досить сказати, що в країнах СНД потенційні запаси ВЕР оцінюють більше ніж у 1000 млн. ГДж.

Вторинні енергетичні ресурси можна використати безпосередньо без зміни виду енергоносія (для задоволення потреби в тепловій енергії та паливі) або зі зміною виду енергоносія виробленням теплової та електричної енергії, холоду або механічною роботою в утилізаційних установках.

Багато галузей народного господарства мають у своєму розпорядженні неабиякий резерв паливних і теплових ВЕР, що посідають значне місце в їхньому паливно-енергетичному балансі. Найбільші теплові ВЕР зосереджено на підприємствах чорної та кольорової металургії, хімічної, нафтопереробної й нафтохімічної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, газової промисловості, у галузі важкого машинобудування.

На цих ділянках широко використовують теплоту високого, середнього і низького потенціалів. Майже 90% теплоти високого потенціалу (більше 623 К) витрачають: близько 33% – на плавку, 40% – на нагрівання і близько 20% – на випал руд і мінеральної сировини. Велику частину теплоти високого потенціалу одержують за рахунок спалювання горючих речовин безпосередньо в технологічних установках.

Теплоту середнього (373...622 К) і низького (323...423 К) потенціалів застосовують для теплопостачання споживачів, що потребують підвищених значень температури й тиску. Понад 90% її корисного споживання витрачають у промисловості (~45%) та житлово-комунальному секторі (~48,5%). Основними енергоносіями, що забезпечують енергією середньо- і низькотемпературні процеси, є водяна пара й гаряча вода.

Підприємства важкого, енергетичного і транспортного машинобудування України мають величезний потенціал ВЕР у вигляді фізичної теплоти димових газів мартенівських, нагрівальних і термічних печей, вагранок, теплоти випарного охолодження печей, теплоти відпрацьованої пари пресів і молотів. Мають вторинні відновлювані енергоресурси і підприємства інших галузей народного господарства.

Одним з найважливіших завдань удосконалення будь-якої галузі є виявлення резервів економічного та екологічного використання ВЕР для цілей виробництва і задоволення потреб побутового споживання.

Поряд зі збільшенням ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, утилізація ВЕР дає змогу знизити негативний вплив енергопостачання й енергоспоживання на довкілля, зокрема меншим стає викид теплових відходів (теплове забруднення), а також уміст шкідливих викидів у продуктах згорання.

Принципова схема використання ВЕР, наведена на рис. 5.1, ілюструє окремі потоки і перетини, за якими визначають їхні кількісні показники.

Отже, застосування вторинних енергоресурсів, що неминуче виникають під час різних технологічних процесів, є одним з істотних резервів енергозбереження. Вихід вторинних енергоресурсів залежить від цілої низки чинників: параметрів, за яких відбувається процес, його режиму, конструктивного боку технологічного устаткування та ін.

Кожну технологічну установку характеризує певний енергетичний ККД, що показує, скільки втрачається енергії, підведеної до процесу. На практиці точиться постійна боротьба з утратами, використовуються найрізноманітніші способи їхнього скорочення, зокрема організаційно-технічні, пов'язані з налагодженням технологічних процесів і режимів роботи агрегатів, з поліпшенням ізоляції технологічного устаткування, трубопроводів гарячої води, водяної пари та ін.

Один зі способів знизити втрати – використовувати можливості повернення частини втрат енергії безпосередньо до того процесу, в якому вони утворюються. Численні дослідження підтверджують енергетичну й економічну ефективність регенерації та рекуперації енергії. По тому залишаються тільки втрати, яких за цією технологією не можна зменшити й уникнути при наявному рівні розвитку техніки. Саме цю частину енергетичних утрат прийнято вважати вторинними енергоресурсами, які звичайно підрозділяють на паливні, теплові та підвищеного тиску.

Паливні ВЕР – відходи технологічних процесів, що мають хімічно зв'язану енергію; вони невживані або непридатні для подальшої технологічної переробки і можуть бути застосовані як котельно-пічне паливо.

Теплові ВЕР – це ентальпія газів технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції та відходів виробництва, теплота робочих тіл систем охолодження технологічних агрегатів й установок, ентальпія гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних установках. До теплових ВЕР також належать водяна пара і гаряча вода, що побіжно виникають у технологічних установках.

ВЕР підвищеного тиску – потенційна енергія газів, що виходять із технологічних агрегатів з надлишковим тиском, який треба знижувати перед подальшим використанням або викидом їх в атмосферу.

Залежно від виду і параметрів вторинні енергоресурси використовують в одному з таких напрямів.

Паливні – як котельно-пічне паливо.

Теплові – в утилізаційних установках (УУ) або безпосередньо споживачем, щоб забезпечити потреби в тепловій енергії. Можливе також



одержування штучного холоду за рахунок ВЕР в абсорбційних холодильних установках.

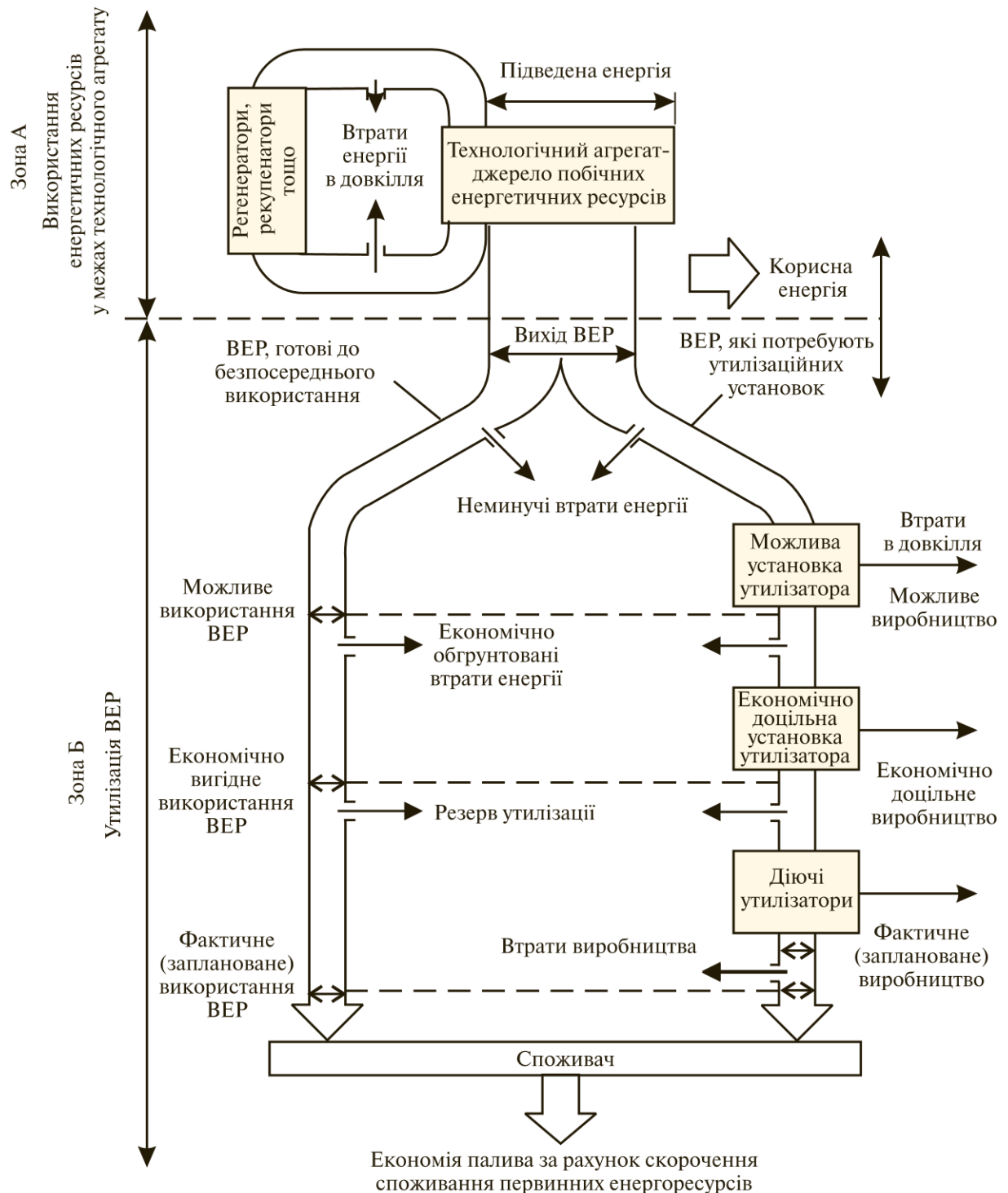


Рис. 5.1 – Принципова схема використання ВЕР

Електроенергетичні – перетворення енергоносія для одержання електроенергії в газових або парових конденсаційних турбоагрегатах.

Комбіновані – для виробництва в утилізаційних установках ТЕЦ електричної й теплової енергії за допомогою теплофікаційного циклу.

## 5.2. Стан використання вторинних енергетичних ресурсів

Паливні ВЕР. У сумарному виході паливних ВЕР основна частка припадає на три галузі промисловості: чорну металургію, нафтопереробну й нафтохімічну, хімічну. Паливними ВЕР чорної металургії є коксовий, доменний, конверторний і феросплавний гази. Після відведення з технологічного агрегату їх очищають від пилу і спрямовують до різних технологічних установок підприємства, де й спалюють як котельно-пічне паливо. Якщо на підприємстві є надлишки паливних ВЕР, то їх спалюють в енергетичних установках (ТЕС, котельнях).

Річний вихід паливних ВЕР з названої галузі в цілому оцінюють у десятки млн. т у.п., а їхнє використання досягає 93%. При цьому використання доменного газу становить 96,6%, феросплавного – 38,0%. Подальше зростання міри їхнього застосування пов'язане з вирішенням цілої низки науково-технічних завдань: розробкою і впровадженням установок для очищення газів феросплавних печей, розробкою системи очищення і вловлювання конвертерного газу без догорання тощо.

До горючих ВЕР нафтопереробної і нафтохімічної промисловості належать гази, утворювані у процесі виробництва сажі, абгази, рідкі вуглеводні й кубові залишки у виробництві дивінілу, метановоднева фракція у виробництві етилену, горючі відходи нафтопереробки та ін. Звичайно вони використовуються як паливо в технологічних установках, а їхні надлишки спалюють у факелах. Коефіцієнт використання паливних ВЕР у нафтопереробній і нафтохімічній промисловості є недостатньо високим і, за деякими оцінками, не перевищує 60%. Істотне його підвищення пов'язане з організацією застосування низькокалорійних ( $400 - 500$  ккал/м<sup>3</sup>) відхідних газів виробництва сажі, коефіцієнт використання яких наразі становить лише близько 20%.

Більше як 98% загальної кількості паливних ВЕР хімічної промисловості припадає на азотну, фосфорну і хлорну підгалузі. Горючі відходи є у виробництвах аміаку, метанолу, ацетилену, капролактаму, каустичної соди, жовтого фосфору, карбїду кальцію.

У процесі виробництва аміаку утворюються ретурні, танкові і продувальні гази, фракція СО, а також рідкі вуглеводні, які можуть бути використані як паливо. Під час одержання метанолу виділяються танкові і продувальні гази; ацетилену – шлам сажі й вищі ацетиленові гомологи; капролактаму – продувальний газ і водень; каустичної соди – водень. Горючими також є відхідні гази електропечей у виробництвах жовтого фосфору і карбїду кальцію. Сумарний вихід паливних ВЕР у цій галузі еквівалентний декільком млн. т у. п./рік, а коефіцієнт їх використання сягає 75%.

Усі названі паливні ВЕР використовуються або можуть бути використані як паливо, спалюване в технологічних або енергетичних установках. Економічно це, безумовно, є доцільним, оскільки витрати,

пов'язані з організацією спалювання, наприклад горючих газів, становлять не більш 10 – 20% від витрат на видобуток і транспортування первинного палива. Крім того, під час їхнього спалювання відбувається знешкодження речовин, що викидаються в атмосферу, звільнення їх від токсичних і канцерогенних компонентів, а це покращує екологічну обстановку в районах, де розташовано такі підприємства.

Основні труднощі у використанні паливних ВЕР пов'язані з їхнім збиранням, транспортуванням, а також з потребою вдосконалити наявні й розробити нові методи і пристрої для їх спалювання.

ВЕР підвищеного тиску. Значної економії природних енергоресурсів можна досягти, якщо утилізувати цей вид вторинних енергетичних ресурсів у чорній металургії та в системах газопостачання.

Нині в Україні близько 3/4 усіх доменних печей працюють під тиском 0,2 МПа і більше. Сумарний вихід доменного газу за такого тиску досягає сотень тис. м<sup>3</sup>/г. До останнього часу перед подачею очищеного доменного газу до заводської розподільної мережі його підвищений тиск знижували в спеціальних дросельних пристроях, але при цьому втрачалася значна кількість потенційної енергії газу.

Розрахунки показують, що в умовах тиску газів, який перевищує атмосферний на 0,09 МПа і більше, за теперішнього рівня цін на паливо економічно доцільним є утилізувати цю енергію, зокрема спрацьовувати надлишковий тиск доменного газу на газорозширювальних станціях, обладнаних спеціальними газовими утилізаційними безкомпресорними турбінами з генераторами для вироблення електроенергії.

Великими резервами потенційної енергії підвищеного тиску наділено газорозширювальні станції природного газу, на яких відбувається його дроселювання перед подачею до розподільної мережі. Об'єм споживання природного газу як у чорній металургії, так і загалом у народному господарстві невпинно зростає.

Теплові ВЕР (ТВЕР). Найбільше труднощів виникає під час вирішення питань, пов'язаних з утилізацією теплових ВЕР промисловості. Це зумовлено великим розквітом останніх з погляду їхньої температури, режиму видачі, виду і фізико-хімічних властивостей їхнього носія та інших чинників. Деякі з теплових ВЕР не використовуються, оскільки немає відповідних технічних рішень і устаткування для їхньої утилізації (або устаткування таке дороге, що робить цей захід економічно невиправданим).

До числа галузей, що визначають вихід теплових ВЕР промисловості, насамперед слід зарахувати чорну металургію. Сумарний вихід теплових ВЕР галузі еквівалентний 20 млн. т у. п./р, а можливе вироблення теплоенергії за умови повної утилізації оцінюють у 10 млн. т у. п./р. Проте, фактично, в наш час вироблення тепла утилізаційними установками становить близько 3 млн. т у. п./р, що дає змогу покрити 34% загальної потреби галузі в ньому. Невисокий ступінь використання ВЕР значною мірою можна пояснити нестачею вже освоєного промисловістю

утилізаційного устаткування.

Близько 3/4 від сумарного виходу теплових ВЕР у кольоровій металургії дають відхідні гази різних металургійних печей. Проте утилізація їх шляхом розміщення за печами котлів-утилізаторів пов'язана з неабиякими труднощами, обумовленими високою запиленістю й агресивністю відхідних газів. Отже, потрібно розробити вузькоспеціалізовані котли й випускати їх малими серіями, навіть одиницями, а такі котли коштують значно дорожче за котельні установки, використовувані в чорній металургії, і тим паче – за енергетичні. Цими обставинами до останнього часу звичайно пояснювали низький рівень використання теплових ВЕР у кольоровій металургії. Наприклад, у колишньому СРСР, за сумарного виходу в цій галузі такого виду ВЕР, що дорівнював 3,0 – 3,2 млн. т у.п., з виробленням тепла утилізували лише ~20% вторинних енергетичних ресурсів.

Воднораз утилізація ВЕР не тільки заощаджує паливо, а й дає змогу вирішувати завдання щодо підвищення продуктивності технологічних агрегатів, надійності їхньої роботи, уловлювання цінних сировинних компонентів, скорочення викидів шкідливих речовин у довкілля. Наприклад, якщо під час вироблення міді за відбивною піччю встановити котел-утилізатор із паропроductивністю 20 – 26 т/г і тиском 4,05 МПа, це дасть змогу зекономити близько 19 тис. т у. п. на рік. При цьому додатково буде вловлено майже 320 т пилу, що містить мідь та інші цінні компоненти. Те ж саме можна сказати про системи випарного охолодження елементів шахтних, відбивних і випалювальних печей, напилків конверторів та ін. Їхнє застосування приблизно в 50 разів скорочує потребу в технічній воді і в 2–3 рази побільшує термін служби відповідного устаткування.

Ураховуючи такі обставини, утилізація теплових ВЕР у кольоровій металургії стає економічно виправданою навіть там, де раніше вважалася неефективною.

Теплові ВЕР нафтопереробної і нафтохімічної промисловості переважно визначає ентальпія відхідних газів установок первинної переробки нафти, каталітичного риформінгу і крекінгу та інших технологічних агрегатів. Сумарний вихід теплових ВЕР галузі становить мільйони т у. п./р., а їхнє використання – близько 50%.

У промисловості будівельних матеріалів ВЕР утворюються у процесі випалення цементного клінкеру й керамічних виробів, у виробництві скла, виплавці теплоізоляційних матеріалів, але їхньому використанню досі приділяють мало уваги. За сумарного виходу теплових ВЕР, еквівалентних 1,0 – 1,5 сотні тис. т у. п. на рік, їх утилізація з виробленням тепла не перевищує 15 – 17%. Тепер котлами-утилізаторами оснащено здебільшого великі скловарні печі на заводах з виробництва листового скла.

У хімічній промисловості найенергоємнішим є виробництво аміаку, хімічного волокна, синтетичної смоли, кальцинованої соди, фосфору, метанолу: воно споживає понад 70% електроенергії й половини тепла, що їх витрачає вся галузь. Вихід теплових ВЕР у галузі взагалі є досить великим і

становить понад 1,0 млн. т у. п./р.

Теплові ВЕР значною мірою покривають потреби окремих виробництв у теплі. Так, в азотній промисловості коштом ВЕР задовольняють більше 26% потреби в теплі, у содовій – понад 11%.

Утім, рівень використання цього виду ВЕР у галузі все ж таки не відповідає сучасним вимогам. Нині в найенергоємніших її підгалузях коефіцієнт використання становить лише близько 37%. Основною причиною низького рівня їхнього застосування є те, що технологічні агрегати аж ніяк не в повній мірі оснащені вже освоєним утилізаційним устаткуванням, окрім того, у ряді випадків утилізація неможлива через відсутність конче потрібних технічних засобів.

Низькопотенційна теплота (НПТ). До низькопотенційних теплових відходів належить ентальпія димових газів технологічних і енергетичних установок з температурою нижче 400°C; води, що охолоджує елементи конструкцій технологічного устаткування; вентиляційних викидів; шахтних вод; водяної пари вторинного скипання тощо. Утилізації цих ВЕР досі не приділяли належної уваги, оскільки вважалося, що вона є економічно неефективною. Тепер ситуація різко змінилася, і в різних енергоощадних програмах утилізацію низькопотенційної теплоти виокремлено в самостійний напрямок робіт з економії енергоресурсів.

І справді, утилізація НПТ є важливим народногосподарським завданням, оскільки її вихід становить близько половини від сумарного виходу всіх видів ВЕР. Актуальність цього завдання зростатиме, адже вдосконалення технологічних процесів, як правило, супроводжується скороченням витрат тепла високого потенціалу. Крім того, не можна забувати, що утилізація НПТ, як і всіх ВЕР, сприяє охороні довкілля від теплового й хімічного забруднення.

Носіями низькопотенційної теплоти звичайно є корозійноактивні, забруднені, запилені рідини і гази, від яких її практично неможливо відвести, застосовуючи стандартну теплообмінну апаратуру. Інакше кажучи, аби вирішити завдання щодо використанню НПТ, потрібно створити спеціальне утилізаційне устаткування.

Досвід зарубіжної та порівняно невеликої вітчизняної практики з утилізації низькопотенційних теплових відходів дає змогу вирізнити необхідні для цього основні технічні засоби:

- контактні апарати з різними насадками для використання теплоти димових газів й інших парогазових потоків;
- багатоступінчаті установки з апаратами миттєвого скипання для забруднених гарячих стоків;
- багатоступінчаті установки з апаратами типу “теплова труба” для утилізації теплоти агресивних рідин (сірчаної, фосфорної, азотної кислот);
- скрубєрно-сольові установки для димових газів;
- випарні апарати з обертовими елементами (роторно-плівковими) для забруднених газів з метою одержання теплоти і концентрування стічних вод;

- теплові насоси (пароструминні, абсорбційні і компресійні) для виробництва холоду й теплопостачання;
- абсорбційні холодильні установки (на водних розчинах аміаку, броміду літію, хлориду кальцію та ін.);
- установки, що працюють за водо-фреоновим циклом;
- регенеративні обертові теплообмінники, пластинчасті рекуператори, теплообмінники з проміжним теплоносієм, з “тепловими трубами” для використання теплоти вентиляційних викидів.

Створення переліченого устаткування пов’язане з додатковими витратами, які є значно більшими від тих, що потрібні для утилізації високотемпературних ВЕР. Розв’язання питання щодо ефективного використання НПТ ускладнено ще й тим, що звичайно складно знайти відповідного споживача енергоносіїв, вироблених утилізаційними установками.

І справді, теплоту, вироблену в утилізаційних установках НПТ, досить складно вписати у графік традиційних споживачів. У таких випадках стоїть завдання шукати нових, раніше з якихось причин не врахованих споживачів низькопотенційного енергоносія. Потрібно вивчити можливість його використання як усередині певного підприємства – для очищення стоків і конденсату, деаерації та знесолення живильної води, виробництва холоду тощо, так і на стороні – для опалення теплиць і парникових господарств, опріснення морської води й інших комунальних потреб. У разі, коли вироблення низькопотенційної енергії значно перевищує потребу в ній підприємства і дотичних до нього споживачів, економічно доцільним може виявитися її використання для виробництва електроенергії в енергоустановках з низькокиплячими робочими тілами (фреонами).

Відзначмо, що розробки теплопостачання промислових вузлів на базі використання ТВЕР тільки на чотирьох підприємствах чорної металургії (на трьох великих і одному середньому), дають змогу заощадити близько 6 млн. т у. п. 20 – 25% цієї зекономленої суми одержують за рахунок перекомунікації теплової схеми заводських енергостанцій і раціоналізації системи теплопостачання в цілому. Однак, зі зростанням промислового виробництва кількість ВЕР збільшиться лише трохи, оскільки розвиток енергоощадних технологій приведе до відносного зменшення енергетичних відходів.

Утилізації ТВЕР технологічного процесу передують можливість повернути відведену теплоту назад – до основного процесу з відповідним підвищенням його теплового ККД; цей спосіб називають регенерацією теплоти і досить широко застосовують у техніці. Для нього потрібні: економайзери парових котлів, регенератори і рекуператори промислових печей, теплообмінники для регенерування теплоти вентиляції тощо. Використання ТВЕР доповнює регенерацію теплоти, що є першочерговою, і тільки залишкову теплоту після регенерації слід розглядати як ТВЕР. Розмежування понять “використання ТВЕР” і “регенерація теплоти” можна

проілюструвати такими прикладами:

1. За паровим котлом звичайно встановлюють водяний або/ і повітряний економайзер (и) для роботи на відхідних газах. Теплота, що в результаті відходить, повертається до основного процесу з живильною водою або повітрям горіння з метою знизити витрати палива в топці, а це і є регенерацією теплоти. За економайзером, що нагріває живильну воду, може розміщуватися теплофікаційний економайзер для нагріву мережевої води системи тепlopостачання або контактний – для гарячого водopостачання. Ці пристрої слугують для використання ТВЕР.

2. За промисловими печами вмонтовують теплообмінники регенератори, рекуператори для того, щоб відхідні гази нагрівали дуттьове повітря, причому в піч повертається частина теплоти газів, тобто відбувається регенерація. Установлені після (замість) них водяні економайзери, що обслуговують зовнішніх споживачів, є утилізаторами ТВЕР.

3. Підігрівання припливного повітря витяжним повітрям вентиляції – це регенерація, що знижує витрачання теплоти в основному процесі. Використання цієї теплоти як ТВЕР є неможливим через низьку температуру витяжного повітря.

У питаннях утилізації ВЕР важать техніко-економічні розрахунки. Сьогодні варіанти вирішення народногосподарських завдань перш за все мають відповідати умовам соціально-економічної ефективності. Обов'язковим є дотримання екологічних вимог. Економічну ефективність слід порівнювати щодо варіантів, які задовольняють ці вимоги, а ухвалювати найекономічніший із соціально ефективних (за науково-технічною політикою, концепцією розвитку промислових галузей, розміщенням продуктивних сил та ін.) і екологічно припустимих варіантів.

Такий підхід має велике значення для розв'язання технічних проблем, зокрема для вибору джерел енергопостачання. Соціальна й екологічна ефективність використання ВЕР є очевидною – це збереження невідновлюваного палива, зменшення забруднення атмосфери, зниження витрат і поліпшення умов праці, розвантаження транспорту.

### 5.3. Ефективність застосування ВЕР

Паливні ВЕР потрібно використовувати як паливо повністю (100%). Об'єм застосування вторинних енергетичних ресурсів, що утилізуються з перетворенням енергоносія, визначено можливим виробленням електроенергії в утилізаційній установці.

Можливу кількість утилізованої теплоти для виробництва водяної пари або гарячої води за рахунок теплових ВЕР загалом визначають відповідно до формули:

$$Q_T = G(h_1 - h_2)\beta(1 - \xi), \quad (5.1)$$

а для виробництва холоду так:

$$Q_x = Q_T \varepsilon, \quad (5.2)$$

де  $G$  – витрата енергоносія ВЕР в утилізаційній установці;  
 $h_1$  і  $h_2$  – ентальпія енергоносія відповідно на вході й виході з УУ;  
 $\beta$  – коефіцієнт, що враховує невідповідність режиму і кількості годин роботи УУ та агрегату-джерела ВЕР;  
 $\xi$  – коефіцієнт утрат теплоти УУ в зовнішнє середовище;  
 $\varepsilon$  – холодильний коефіцієнт.

Кількість виробленої теплоти в УУ можна визначити також за формулою

$$Q_T = Q_{\text{вих}} \eta_y, \quad (5.3)$$

де  $\eta_y$  – умовний ККД утилізаційної установки.

Можливу кількість електроенергії в утилізаційній турбіні за рахунок ВЕР у вигляді надлишкового тиску визначають за формулою

$$W = M_{\text{ВЕР}} \tau I \cdot \eta_{\text{ві}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{г}}, \quad (5.4)$$

де  $M_{\text{ВЕР}}$  – часова кількість енергоносія (рідини або газу, що має підвищений тиск);

$\tau$  – кількість годин роботи агрегату джерела ВЕР у розглядуваний період;

$I$  – робота ізоентропного розширення енергоносія;

$\eta_{\text{ві}}$  – внутрішній відносний ККД турбіни;

$\eta_{\text{м}}$  – механічний ККД турбіни;

$\eta_{\text{г}}$  – ККД електрогенератора.

Якщо до конденсаційної турбіни від теплоутилізаційних установок надходить водяна пара високих параметрів, кількість енергії визначається відношенням

$$W = Q_T / q_k, \quad (5.5)$$

де  $Q_T$  – кількість теплоти, що надходить до турбіни від теплоутилізаційної установки;

$q_k$  – питома витрата теплоти на виробництво електроенергії в конденсаційній турбіні.

Економічну ефективність використання ВЕР детермінує значення зведених витрат на систему енергопостачання, енергетичну установку або агрегат,

$$B = C + E_n k, \quad (5.6)$$

де  $B$  – зведені витрати, грн/р.;

$C$  – річні експлуатаційні витрати (собівартість), грн/р.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який для енергетичної галузі дорівнює  $0,12 \text{ рік}^{-1}$ ;

$K$  – капіталовкладення, грн.

Економічно найефективнішим є варіант, який характеризується мінімумом зведених витрат  $B_{\text{min}}$ . Зведені витрати для варіантів енергопостачання з утилізацією ВЕР можна окреслити за співвідношенням

$$B_{\text{ут}} = C_{\text{ут}} + E_n K_{\text{ут}}, \quad (5.7)$$



а для енергопостачання без утилізації ВЕР за рівнянням

$$V_{б.ут} = C_{б.ут} + E_n K_{б.ут}, \quad (5.8)$$

де індекси ут і б. ут указують на варіант енергопостачання.

Економічний ефект від використання ВЕР визначається різницею в річних зведених витратах за порівнюваними варіантами:

$$\Delta B = V_{б.ут\min} - V_{ут\min} = C_{б.ут} - C_{ут} - E_n (K_{ут} - K_{б.ут}). \quad (5.9)$$

Використання ВЕР є економічно доцільним для позитивного значення різниці ( $\Delta B > 0$ ).

### Запитання і завдання для самоперевірки

1. Привести класифікацію вторинних енергетичних ресурсів.
2. Показати принципову схему використання вторинних енергетичних ресурсів.
3. Що таке резерв утилізації?
4. Яка економія палива за рахунок скорочення споживання первинних енергоресурсів?
5. Що таке теплофікаційний цикл?
6. Який стан використання вторинних енергетичних ресурсів в Україні?
7. Що таке теплові вторинні енергетичні ресурси?
8. Як використовується низько потенційна теплота відходів викидів димових газів?
9. Що є носіями низько потенційних теплових потоків?
10. Які Ви знаєте скрубєрно-сольові установки димових газів?
11. Яка ефективність застосування вторинних енергетичних ресурсів?

## РОЗДІЛ 6

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ ТА ВІДХОДІВ ОСНОВНИХ ГАЛУЗЕЙ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Майже в кожній галузі переробки багатокомпонентного сировини крімцільового продукту утворюються речовини, які не знаходять застосування і йдуть у відходи виробництва. Причини появи відходів найрізноманітніші: від багатокомпонентності самого сировини до безгосподарного ставлення до його використання. У відходи потрапляють також відпрацьовані допоміжні матеріали (каталізatori, розчинники, екстрагенти та ін.). Також, у відходах містяться мільйони тонн речовин, які шляхом механічної, термічної або хімічної обробки можна перетворити на корисні продукти або енергію.

Будь-які відходи – це речовини, які можуть і повинні стати сировиною для отримання різноманітних продуктів. Тому їх слід розглядати як вторинні матеріальні ресурси (ВМР).

Виходячи з можливостей використання ВМР, їх можна поділити на реальні та потенційні ресурси. До реальних слід віднести ВМР, для використання яких створені ефективні методи і потужності для переробки, а також забезпечений ринок збуту; до потенційних – всі види ВМР, що не входять в групу реальних. До потенційних ВМР відносяться також побічні продукти, які в даний час використовуються недостатньо повно і являють собою резерв матеріальних ресурсів для промисловості.

Велика номенклатура відходів, що утворюються на підприємствах різних галузей, ускладнює їх класифікацію, облік, збір та переробку.

Внаслідок багатьох причин на сьогоднішній день у нас в країні, і за кордоном відсутня загальноприйнята наукова класифікація відходів, яка охоплює всі їх види. Існуючі класифікації дуже різноманітні і, водночас, однобічні.

Різні підходи до класифікації відходів базуються на наступних класифікаційних ознаках:

- місце утворення відходів (галузь промисловості);
- стадія виробничого циклу; вид відходу;
- ступінь шкоди довкіллю та здоров'ю людини;
- напрям використання;
- ефективність використання;
- величина запасу і обсяги освіти;
- ступінь вивченості та розробленості технологій утилізації.

Також широко використовується класифікація відходів за ступенем їх небезпечного впливу на людину і навколишнє середовище. Так, у країнах ЄС встановлено 14 категорій небезпеки відходів для здоров'я людини та ризику для навколишнього середовища: 1 – вибухонебезпечні; 2 – оксиданти; 3(А) – відходи з високим ступенем займистості; 3(В) – займисті; 4 – подразнючі; 5 – шкідливі; 6 – токсичні; 7 – канцерогенні; 8 –

корозійноактивні; 9 – інфекційні; 10 – тератогенні (ушкоджують зародки – ембріонотоксичні); 11 – мутагенні (що викликають спадкові зміни); 12 – виділяючі токсичні гази при контакті з водою; 13 – виділяючі небезпечні речовини; 14 – екоотоксичні.

Запропонована цікава систематична класифікація промислових відходів, згідно з якою всі види відходів діляться на 13 груп: 1) гальванічні та інші шлами, що містять відходи реагентів і хімреактивів, хром, нікель, кобальт, цинк, свинець, кислі та лужні відходи хімічних виробництв, речовини неорганічного характеру; 2) каналізаційні, водопровідні та нафтовмісні сади промислових стічних вод, що утворюються на очисних спорудах виробничих зон; 3) нафтовідходи, легкозаймисті рідини (ЛЗР), мастильно-охолоджуючі рідини (МОР), кубові залишки, відходи лакофарбової промисловості; 4) відходи пластмас, полімерів, синтетичних волокон, нетканих синтетичних матеріалів і композицій на їх основі; 5) відходи гумотехнічних виробів, шин; 6) деревні відходи; 7) відходи паперу; 8) відходи чорних і кольорових металів і легованих сталей; 9) шлаки, зола, пил (крім металевої); 10) харчові відходи; 11) відходи легкої промисловості; 12) стекловідходи; 13) відходи будіндустрії.

Нижче детально розглянемо відходи харчової промисловості (ХП). Адже комплексна переробка сировини усіх галузей ХП дозволить отримати більш широкий набір цінних продуктів для різних сфер застосування, а також сприятиме економії природних ресурсів.

## **6.1. Цукрова галузь**

### **6.1.1. Енергозатратність виробництва та аналіз теплоспоживання на цукровому підприємстві**

Виробництво цукру пов'язано зі значними витратами теплової та електричної енергії. Так, наприклад, за 2009 рік на виробничі потреби цукровими заводами галузі витрачено 450 тис. т. умовного палива або біля 390 млн.м<sup>3</sup> природного газу та 312 млн. кВт·год. електроенергії. Через підвищення вартості природного газу останні роки частка палива та енергії в собівартості переробки 1 т цукрових буряків складає 30...32%, а складова частина палива в собівартості цукру досягає 20%. При цьому величина комплексних питомих витрат умовного палива по цукровим заводам України склали 5,17% проти 5,6% в 2008 році та близько 6% в попередні десятиріччя. В умовах постійного зростання цін на енергоносії одним з найважливіших способів підвищення ефективності галузі є зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на виробництво цукру з цукрових буряків. Зменшення паливної складової і, відповідно, підвищення рентабельності цукрового виробництва, можливо реалізувати двома шляхами: зменшення питомих витрат ПЕР на технологічні потреби та використання більш дешевих альтернативних видів енергоносіїв. При зменшенні витрат ПЕР в бурякоцукровому виробництві слід зосередитися на зменшенні витрат

теплової енергії на технологічні потреби, оскільки частка цієї складової перевищує 80% в загальному балансі витрат ПЕР на технологічні потреби й у зменшенні витрат теплоти (технологічної пари з ТЕЦ) маються найбільші резерви економії енергоресурсів у бурякоцукровому виробництві.

Для зменшення витрат пари на технологічні потреби необхідно забезпечити скорочення сумарної кількості паровідборів із корпусів випарної установки. Але при цьому для запобігання концентрації сиропу потрібно перерозподілити паровідбори з корпусів випарної установки таким чином, щоб забезпечити випаровування необхідної кількості води з соку, або забезпечити зменшення кількості соку, що подається у випарну установку. Зменшення витрат пари на технологічний процес забезпечується наступними заходами: 1) удосконаленням технологічного процесу та використанням сучасного обладнання; 2) використанням теплоти вторинних джерел (конденсати, утфельна пара та ін.); 3) покращенням теплової ізоляції через недосконалість якої зараз втрачається 20 – 30% теплоти, введеної в завод.

Основними заходами з енергозбереження, які впроваджені на найбільш енергоефективних цукрових заводах України є:

- удосконалення теплової схеми, конденсатного господарства, реконструкція конденсаторів вакуум-апаратів і випарної установки, впровадження прогресивної теплової схеми з деаерізацією конденсатів і використання їх для живлення дифузійних апаратів;

- зменшення відкачки дифузійного соку за рахунок впровадження процесу глибокого віджимання жому та повернення жомопресової води в дифузійний процес з установкою жомових пресів з високим ступенем віджимання (22 – 32% СР), покращення якості бурякової стружки і живильної води;

- застосування плівкових випарних апаратів на останніх корпусах випарної установки із отриманням концентрованого сиропу з 70...72% СР, забезпечення тривалої роботи випарної установки в оптимальному режимі за рахунок якісної очистки соків, дотримання встановлених регламентів роботи випарної установки, сучасної автоматизації процесів випарювання, застосування інгібіторів накипоутворення;

- зменшення величини розбавлення соку водою по верстату заводу, заміна морально застарілого фільтрувального обладнання на автоматизовані камерні фільтрпреси;

- забезпечення високого рівня використання вторинних енергоресурсів з метою зменшення величин паровідборів з випарної установки;

- уварювання утфелю із висококонцентрованих сиропів з високим виходом кристалічного цукру із звареного утфелю за рахунок використання вакуумапаратів з циркуляторами та їх оснащення сучасною системою автоматизації;

- комплексною автоматизацією технологічних і теплотехнічних процесів на всіх ділянках цукрового виробництва на базі мікропроцесорної техніки та комп'ютерно-інтегрованих технологій;

- широке впровадження тиристорних та частотних електроприводів для автоматичного регулювання швидкості обертання (дифузійні апарати, бурякорізки, центрифуги, насоси тощо).

Слід мати на увазі, що фінансові можливості вітчизняних цукрових заводів не дозволяють широко впроваджувати прогресивне обладнання та технології. Тому в нинішніх умовах особливо важливим є правильний, найбільш раціональний вибір енергозберігаючих заходів і черговість їх впровадження, що особливо складно при реконструкції теплової схеми, яка має значну кількість взаємозв'язаних елементів. Аналізуючи наявний досвід робіт з енергозбереження можливо стверджувати, що однією з основних умов впровадження енергозберігаючих заходів в тепловій схемі цукрового заводу є співставлення величини концентрації сиропу після випарної установки з граничною концентрацією сиропу для конкретного цукрового заводу. При збільшенні концентрації сиропу витрати пари на уварювання утфелю 1-ї кристалізації зменшуються. Але при певній концентрації сиропу з клеровкою уварювання утфелю без збільшення водяних і сокових підкачок для розчинення «муки» стає неможливим. Це призводить до того, що витрати пари на уварювання утфелю зі зростанням концентрації сиропу з клеровкою вже не зменшуються. Величина граничної концентрації індивідуальна для кожного заводу і залежить як від конструкції вакуум-апаратів, рівня їх автоматизації, так і від людського фактору – освіти та кваліфікації апаратників, їхнього вміння та зацікавленості варити утфель з сиропів підвищеної концентрації. Для заводів, укомплектованих вакуум-апаратами з природною циркуляцією утфелю і без сучасної автоматики, гранична концентрація сиропу знаходиться, як правило, в межах 60...65% сухих речовин (СР). Для цукрових заводів з більш сучасною технічною базою гранична концентрація сиропу може досягати 70...75% СР. Використовуючи поняття граничної концентрації сиропу з клеровкою, енергозберігаючі заходи в удосконаленні теплової схеми цукрового заводу можливо розподілити за характером енергозберігаючої дії на три категорії: комплексні заходи; компенсуючі заходи (за переліком ті самі, що і комплексні, але при досягненні граничної концентрації сиропу); заходи, які створюють потенціал економії пари.

Аналіз роботи цукрових заводів зі зменшення витрат ПЕР та проведені варіантні розрахунки показують, що найбільш раціональним шляхом удосконалення тепловикористання є впровадження комплексних енергозберігаючих заходів.

Складна структура тепло технологічного комплексу (ТТК) цукробурякового виробництва викликає необхідність використання для його розрахунку та аналізу відповідних математичних засобів.

Математична модель ТТК базується на системі лінійних алгебраїчних рівнянь, для розрахунку якої використовуються відповідні математичні методи, як правило, найпростіші, розроблені за часів існування єдиного інженерного розрахункового інструменту – логарифмічної лінійки.

Найчастіше це метод послідовного розв'язання з використанням послідовних наближень. З фізичної точки зору ці алгебраїчні рівняння являють собою рівняння аналітичних матеріальних та теплових балансів всіх елементів ТТК та його підсистем і систем, які можуть бути об'єднані в єдину замкнену ієрархічну систему аналітичних матеріальних та енергетичних балансів цукрового заводу. Ця модель має глибоке фізичне підґрунтя, адже рівняння матеріального балансу є інтегральною формою запису закону збереження кількості речовини, а рівняння теплового балансу є інтегральною формою запису першого закону термодинаміки в його потоковій формі.

Однак, складність формальної процедури реалізації аналітичної моделі ТТК ускладнює задачу аналізу її результатів, які втрачають фізичну сутність, та, як наслідок, залишаються зрозумілими лише для спеціалістів в галузі теплотехнології цукрового виробництва.

В той же час, очевидно, структура ТТК як єдиної системи взаємопов'язаних технологічних, теплообмінних та механічних елементів, підсистем та систем вимагає чіткого розуміння системного підходу до аналізу ефективності тепловикористання та визначенню основних шляхів його підвищення не лише від теплотехніків, а й від фахівців в галузях технології, автоматизації, механізації виробництва.

Якщо дотримуватися ДСТУ 4714:2007 «Енергозбереження. Паливноенергетичні баланси промислових підприємств (Методика побудови та аналізу)», на сьогодні безпосередньо на підприємствах цукрової промисловості як правило використовуються фактичні синтетичні баланси, які показують розподіл підведених енергоносіїв. Однак, застосування цих балансів не дає можливості визначити ефективність використання підведених ПЕР, характер та величину енергетичних втрат, основні шляхи підвищення ефективності використання ПЕР.

Для цієї мети використовується, як відзначалося, метод аналітичних балансів, який, в залежності від мети складання балансів, може бути фактичним або розрахунковим. Так, при проведенні енергетичного аудиту застосовується метод фактичних аналітичних балансів, який дає можливість оцінити фактичний стан енерговикористання з визначенням корисно використаних ПЕР та виявити причини виникнення та визначити як загальні втрати ПЕР, так і їх складові по окремим елементам ТТК. При розробці заходів з підвищення ефективності використання ПЕР на основі результатів аудиту застосовують метод розрахункових аналітичних балансів. При цьому окремі види втрат приймаються згідно попередньо розроблених фактичних аналітичних балансів. Слід відзначити, що втрати енергії традиційно визначаються не в енергетичному еквіваленті, а прив'язуються до зниження температур продуктів, що виникло внаслідок цих втрат, або ж задаються у вигляді деяких витрат технологічної пари, що витрачається на компенсацію цих втрат.

При проектному складанні аналітичних балансів величини енерговтрат задають згідно загальноузгоджених методик чи рекомендацій. Однак,

основним недоліком цього методу є відсутність наочності та неможливість розділити заходи, направлені безпосередньо на зниження витрати ПЕР, та ,так звані, компенсуючі заходи, що не мають безпосередньо енергозберігаючого ефекту, а направлені на забезпечення впровадження енергозберігаючих заходів. В цьому сенсі важливим інструментом аналізу ефективності використання ПЕР може стати загальновиробничий енергетичний баланс цукрового заводу. Як буде показано далі, такий баланс наочно дає можливість визначити основні шляхи зниження витрати ПЕР та визначити ефективність їх впровадження. Якщо записати замкнену систему аналітичних енергетичних та матеріальних балансів для всіх взаємопов'язаних елементів ТТК, то вона спроститься до єдиного загальновиробничого балансу, складовими якого будуть потоки, не зав'язані всередині системи, а такі, що пов'язують ТТК з оточуючим середовищем. Так, при складанні фактичного загальновиробничого енергетичного балансу визначаються всі матеріальні та енергетичні потоки, що надходять в підприємство чи залишають його, та підсумкова величина необоротних втрат енергії підприємства. При складанні ж розрахункового загальновиробничого енергетичного балансу матеріальні потоки та енергетичні втрати визначаються, як і при складанні аналітичних балансів, або ж за результатами фактичного балансу, або ж за загальноузгодженими методиками чи рекомендаціями, після чого розраховуються енергетичні потоки, в результаті балансування яких визначають витрату енергії на виробництво.

### **6.1.2. Характеристика вторинних ресурсів цукрової галузі**

У цукровій промисловості в результаті фізико-хімічної переробки цукрових буряків поряд з основною продукцією (цукор-пісок, цукор-рафінад) отримують побічні продукти та відходи. До них відносять буряковий жом, мелясу, фільтраційний осад, бурякові хвостики і «бій» буряка, рафінадну патоку, транспортерно-мийний осад, промислові стічні води, жомопресову воду, відсів вапнякового каменю.

До побічних продуктів в цукровому виробництві відносять мелясу, рафінадну патоку і буряковий жом, які є основною сировиною під час виробництва спирту, лимонної та інших харчових кислот, пектину, харчових волокон тощо.

До відходів належать транспортерно-мийний і фільтраційний осад, бурякові хвостики і «бій» буряка, відсів вапнякового каменю, жомопресова і промислово-стічна води. Однак частина їх може бути використана у вигляді вторинних сировинних ресурсів (ВСР) для отримання додаткової продукції.

ВСР та відходів цукрової промисловості класифікують наступним чином: за джерелами утворення – є рослинними; за агрегатним станом: тверді відходи – буряковий жом, фільтраційний осад, бурякові хвостики і «бій» буряка, вапняковий камінь, транспортерно-мийний осад; рідкі – жомопресової вода, промислові стічні води, густі в'язкі рідини (меляса,

рафінадна патока); за технологічними стадіями отримання: одержувані при первинній переробці сировини (всі ВСР і відходи галузі, крім рафінадної патоки); при вторинній переробці сировини (рафінадна патока); за матеріаломісткістю – є багатотоннажними; за напрямками подальшого використання: для виробництва харчових продуктів; в якості кормів; для виробництва продукції технічного призначення; в якості добрив; в якості джерела альтернативної енергії; по впливу на навколишнє середовище – нешкідливі, під час тривалого зберігання є джерелами неприємних запахів (сирий жом, фільтраційний осад, промислові стічні води), займаючи при цьому значні земельні площі (відсів вапнякового каменя – при складуванні; транспортерно-мийний осад, фільтраційний осад, промислові стічні води – під відстійники).

На рис. 6.1 представлена схема утворення ВСР та відходів в цукровій галузі.

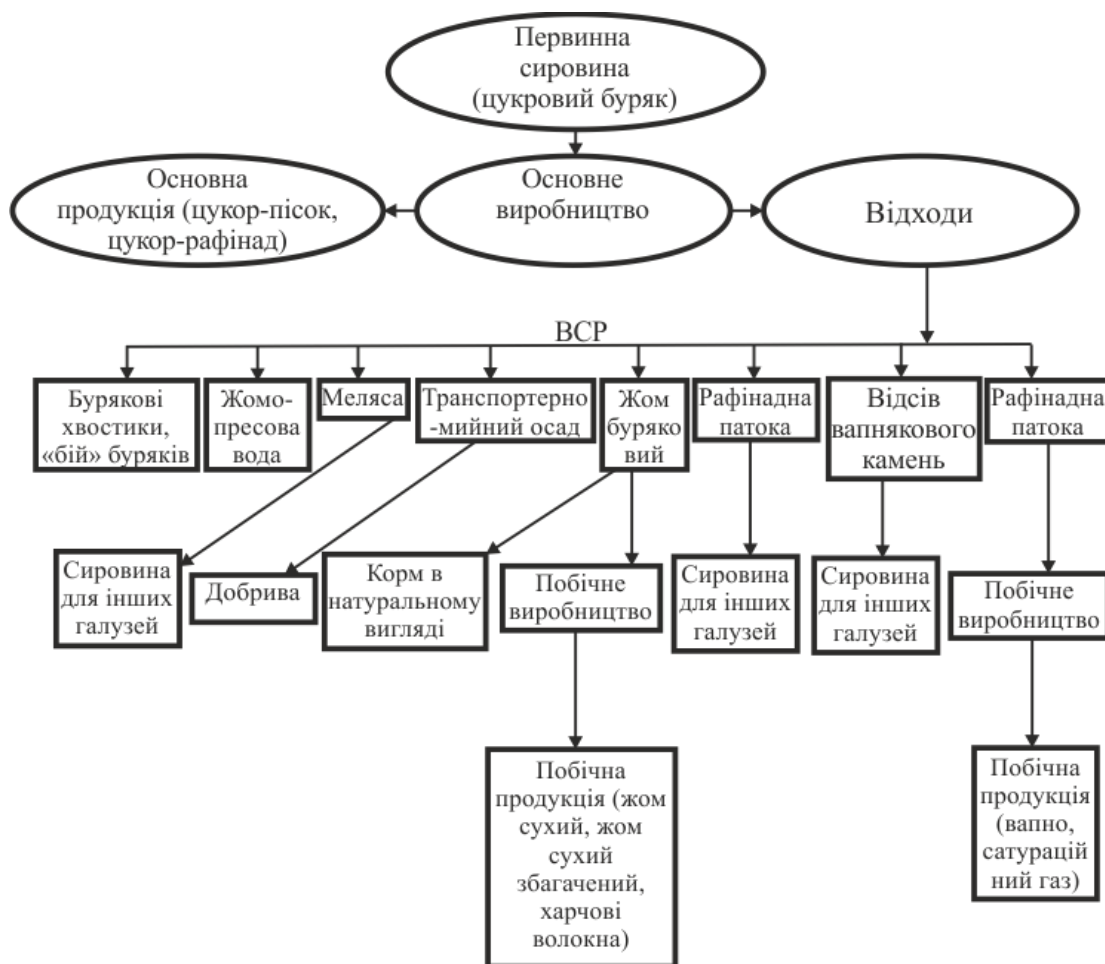


Рис. 6.1 – Схема утворення ВСР і основні напрямки використання відходів у цукровій промисловості



### **6.1.3. Кількість та напрямки використання вторинних сировинних ресурсів і відходів**

Основною сировиною для вітчизняних цукрових заводів є цукровий буряк. У коренеплодах сучасних сортів міститься 16...20% сахарози. Хімічний склад цукрових буряків залежить від сорту, погодних умов в період вегетації, прийомів агротехніки, умов мінерального харчування, строків збирання та інших факторів. Він впливає на технологічний процес переробки і вихід загальної кількості цукру під час виробничих операцій. У коренеплодах цукрових буряків міститься 75...80% води і 20...25% сухих речовин. До складу сухих речовин входять близько 5% клітковини, сахарози – 16...20 і 2,5% розчинних несахарів, 1,1% азотистих, 0,9% безазотистих речовин, 0,5% – золи. У 100 кг коренеплодів містяться 92,1 кг бурякового соку, 5 кг м'якоті і 2,9 кг зв'язаної води. Сік являє собою водний розчин цукру – 17,5 кг та інших речовин, несахарів – 2,5 кг. На частку сахарози в сухій речовині соку доводиться 87,5%. До складу м'якоті входять: пектинові речовини – 48%, геміцелюлоза – 22%, клітковина та інші речовини.

Під час переробки цукрових буряків з кожного центнера коренеплодів отримують, кг: цукру – 10...12, жому – 80...83, меляси – 5...5,4, фільтраційного осаду – 12, транспортерно-мийного осаду – 15, відсіву вапнякового каменю – 1,4, близько 3 кг бурякового бою і хвостиків. Стічні води становлять 350% до маси перероблених буряків.

Вихід цукру залежить не тільки від цукристості буряка, а й від якісного і кількісного складу його несахарів, які є мелясо утворювачами, а також від натуральної лужності (вмісту лужних металів).

В цілому галузь щорічно утворює близько 60 млн. т відходів, включаючи стічні води.

Усі відходи цукрового виробництва знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Для виробництва харчових продуктів шляхом промислової переробки використовують буряковий жом, мелясу, рафінадну патоку, бурякові хвостики і «бій» буряків, жомопресову воду. Як корм найбільше використовується буряковий жом, бурякові хвостики і «бій» буряка. Для виробництва продукції технічного призначення, біопалива використовують жом, мелясу, фільтраційний осад, відсів вапнякового каменю. В якості добрив – фільтраційний осад, транспортерно-мийний осад, промислові стічні води.

Основним видом відходів цукрового виробництва є буряковий жом. Місткість ринку цього виду відходів становить 9 млн. т на рік (дані Інституту кон'юнктури аграрного ринку). Буряковий жом – стружка товщиною не більше 2 мм з вологістю не більше 82%, з якої дифузійним способом витягнуто основну кількість цукру.

У табл. 6.1 представлений хімічний склад бурякового жому.

Таблиця 6.1 – Хімічний склад бурякового жому

Показник	Величина показника в жомі (до загальної маси жому), %		
Сухі речовини	6,0 – 9,0	14,0 – 20,0	11,0 – 15,0
Вода	91,0 – 94,0	80,0 – 86,0	85,0 – 89,0
Сирий пектин	1,2 – 1,5	1,7 – 1,9	1,3 – 2,6
Сира клітковина	3,5 – 4,5	5,0 – 7,0	2,8 – 4,2
Безазотисті екстрактивні речовини	4,3 – 6,0	8,5 – 10,0	2,7 – 5,8
Зола	0,6 – 1,0	1,1 – 1,4	0,7 – 1,8
Жир	0,4 – 0,7	0,6 – 0,9	0,7 – 1,0
Кормова цінність (100 кг жому, корм.од.)	6 – 9	15 – 20	9 – 11

Крім того, в сирому жомі містяться: вітамін С, білок, незамінні амінокислоти (лізин, лейцин, треонін, валін).

Невіджятий жом, який вийшов з дифузійного апарату і зберігався не більше трьох діб, називається свіжим, більше трьох діб – кислим (рН 5,0).

Жом із вмістом 10...13% сухих речовин (СР) називається віджатым, з вмістом СР більше 13% – пресованим.

Основне використання бурякового жому – кормове. Жом володіє пробіотичним дією за рахунок великого вмісту пектинових речовин. Пектини нормалізують роботу травного тракту у тварин, внаслідок чого вони споживають менше корму.

До 30...40% жому, що утворюється в галузі, згодовується тваринам у свіжому вигляді, однак більшу кількість використовують в кислому вигляді, при цьому втрачається до 50% поживних речовин і значно погіршується якість корму. З метою збереження поживних речовин жом необхідно зневоднювати і сушити. Доцільним є глибоке пресування жому, що дозволяє знизити його відкачку до 115...117% без збільшення втрат.

Сушений жом в порівнянні зі свіжим і кислим має ряд переваг: він більш транспортабельний, незмінний біохімічний склад і кормові властивості (в 100 кг сухого жому міститься 85 кормових одиниць і його можна порівняти з пшеничними висівками), при зберіганні практично не втрачає СР.

Недоліком сушеного жому є низький вміст у ньому протеїну (6,8%), яке може бути збільшено шляхом його збагачення.

Кормову цінність жому можна підвищити шляхом застосування різних добавок, отримуючи при цьому мелясований, амідний, амідомінеральний, бардяний жом.

Сушений жом є сировиною для отримання пектину і пектинових концентратів, які завдяки желуючій і комплексоутворюючій здатності широко використовуються для виробництва кондитерських виробів, джемів, конфітурів, желе, фруктових напоїв, соків, майонезів, а також продукції лікувально-профілактичного призначення.

Меляса є багатотоннажним багатокомпонентним відходом цукрового виробництва, має високу в'язкість, містить сахарозу, розчинні несахара і мікроелементи.

Вихід меляси складає зазвичай 5...5,4% від маси перероблених буряків.

Залежно від кліматичних, агротехнічних умов вирощування і технологічних режимів переробки цукрових буряків склад меляси може коливатися. У мелясі також містяться мікроелементи: Al, Mg, Fe, Mn, Cu, Si.

Меляса є цінною сировиною для ряду галузей. З неї отримують більше 25 видів продукції харчової, хімічної, парфумерної промисловості. З залишкових цукрів в мелясі шляхом бродінням отримують харчові кислоти (лимонну і молочну), гліцерин, ацетон, етиловий та бутиловий спирти.

На суслі, приготованому з меляси, вирощують хлібопекарські дріжджі, нею збагачують грубі, а також зброжені (силос)корми. Кормова цінність меляси складає 770 корм. од. на 1 т.

Вихід рафінадної патоки становить 1,2...1,6% від маси цукру-рафінаду і залежить від якості сировини, що переробляється.

У рафінадній патоці на 100 кг СР міститься 70...75 кг цукрози, органічних несахарів – 17...20 (половину яких складають глюкоза і фруктоза) і 8...10 кг мінеральних несахарів (переважно солей калію, кальцію, сульфатів). Рафінадна патока має застосування в хлібопекарській промисловості, харчоконцентратному виробництві та ін.

У фільтраційному осаді вологістю 50% міститься 75...80% вуглекислого кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ) і 20...25% органічних і мінеральних несахарів, в тому числі азотистих і безазотистих органічних з'єднань (білок, пектинові речовини, кальцієві солі, щавлева, лимонна, яблучна та інші кислоти, сапонін, мінеральні речовини та ін.), а також невеликі кількості калію, азоту, оксиду фосфору. В фільтраційному осаді міститься до 1% (до маси вологого осаду)сахарози. Втрати її до маси буряка складають 0,11...0,12%.

Вихід осаду залежить від маси вапна, що вводиться. При вологості 50% маса його збільшується вдвічі.

Найбільш перспективними способами утилізації фільтраційного осаду є: використання в якості добрива, повторне використання в технологічному потоці після попередньої підготовки, випал на вапно і сатураційних газ.

Як добриво фільтраційний осад використовується безпосередньо, або в суміші з відходами інших виробництв (бардамелясно-спиртового виробництва, бура сажа і т.д.). Внесення 16...25 т / га дефекату під цукровий буряк забезпечує підвищення урожайності коренеплодів на 2,5...3,5 т / га.

Повторне використання фільтраційного осаду в технологічному потоці можливо тільки після попередньої його підготовки (очищення, активації). Активованій вапняним молоком фільтраційний осад використовується для додаткового очищення густих продуктів – відтоків, клеровок. Очищений фільтраційний осад застосовується на станції сокоочищення, що дозволяє на 15...20% скоротити витрату вапна.

Використання фільтраційного осаду для отримання вапна і сатураційного газу дозволяє отримувати вапно високої якості, яке може застосовуватися в будівництві, при виготовленні шлакобетонних і ґрунтобетонних каменів, матеріалів автоклавного твердіння, для приготування в'язучих розчинів, в цукровому виробництві і т.д. Перед випалюванням повинна бути проведена відповідна підготовка фільтраційного осаду – пресування в брикети, підсушування.

У сухому вигляді фільтраційний осад може використовуватися для запилення овочів замість крейди та вапна; при виготовленні паперу, фарб, наповнювачів пастоподібних речовин в гумовій промисловості, поліруючих і очищувальних порошоків та паст і т.д.

Бурякові хвостики і «бій» буряка складають 2...3% від вихідної маси коренеплодів (на окремих заводах до 5% і більше) з вмістом в них сахарози 12...15% на СР. У переробку разом з цілими коренеплодами рекомендується повертати тільки великі уламки буряка (20...50 мм), а уламки менших розмірів направляти на корм худобі у свіжому вигляді.

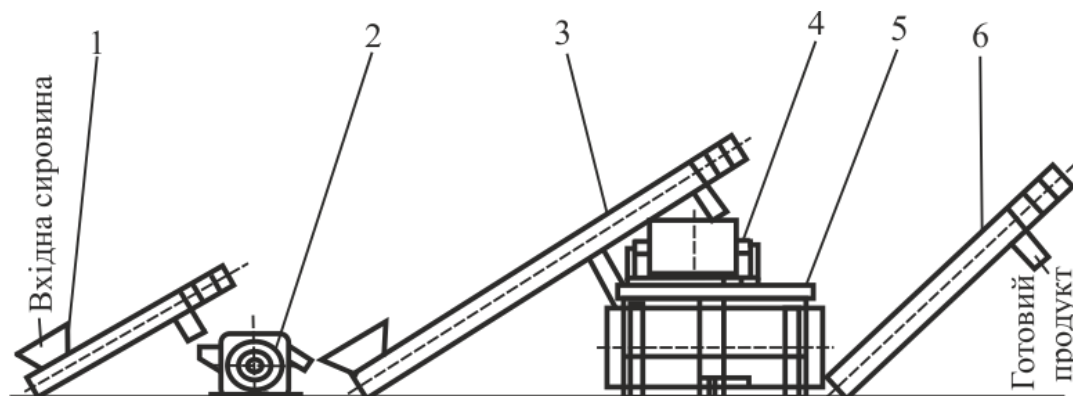
Зберігання уламків буряків у кагатах разом з коренеплодами недопустимо, тому що вони швидко загнивають і стають джерелом мікробіологічного забруднення сировини. Найбільш раціональним способом збереження вихідної якості хвостиків і «бою» буряка є їх сушка разом зі буряковим жомом.

#### **6.1.4. Технології переробки вторинних сировинних ресурсів та відходів**

Основними напрямками вдосконалення технологій переробки ВСР цукрової галузі є: інтенсифікація методів віджиму свіжого жому; розробка ефективних способів сушіння жому з використанням теплової енергії галузевих теплоносіїв (утфельної пари з випарних установок, конденсатів, відпрацьованих газів ТЕЦ, відпрацьованих газів високотемпературних жомосушильних установок та ін.); поліпшення якісних характеристик бурякового жому, збагачення мікроелементами; отримання з сушеного жому харчових добавок і продуктів (пектину, клітковини); розробка способів отримання сухої меляси з подальшим використанням її в кормовиробництві; розробка технологічних процесів, що забезпечують додаткове вилучення цукру з меляси шляхом демінералізації із застосуванням хроматографії та інших сучасних методів; розробка та впровадження раціональних способів використання фільтраційного осаду, в тому числі, ресурсозберігаючої технології для випалу дрібно фракційного вапняку; використання ВСР галузі для виробництва альтернативних видів палива (біопалива).

Технологія виробництва ферментованих кормів включає в себе: приготування засівної закваски в ферменторі об'ємом 0,6 м<sup>3</sup> з використанням пшеничних висівок і закваски в кількості 5 г на 1 т з одночасним зволоженням маси до 60% і нагріванням до 55°C; подрібнення бурякового жому молотковою дробаркою і його подачею шнековим транспортером в

ферментатор об'ємом 7 м<sup>3</sup>; нагрів бурякового жому до температури 55°C і вивантаження приготованої засівної закваски в ферментатор об'ємом 7 м<sup>3</sup> з одночасним інтенсивним перемішуванням протягом 10...15 хв.; ферментацію подрібненого бурякового жому протягом 9 год. І вивантаження готового продукту. На рис. 6.2 представлена технологічна схема ферментації бурякового жому.



1, 3, 7 – шнекові транспортери; 2 – молоткова дробарка;  
4 – ферментатор об'ємом 0,6 м<sup>3</sup>; 5 – ферментатор об'ємом 7 м<sup>3</sup>

Рис. 6.2 – Схема утворення бурякового жому

Буряковий жом є цінним кормом для сільськогосподарських тварин. У сирому вигляді жом використовують нетривалий час, зважаючи на інтенсивність процесу його окислення і втрати поживних речовин.

Сьогодні, коли ціни на енергоносії зросли, сушінням жому багато заводів перестали займатися і цей цінний корм часто реалізується у кислому вигляді. Деякі заводи здійснюють сушку жому в барабанних сушарках з подальшим експортом в Європу для виробництва пектину. Сухий буряковий жом відноситься до найбільш перспективної сировини для отримання низькоетерифікованого пектину зі ступенем етерифікації менше 50%. Низькоетерифікований пектин знаходить широке застосування в медицині, фармакології, кондитерській промисловості.

Науковцями розроблена енергозберігаюча безвідходна технологія сушки бурякового жому з подальшою його переробкою для виробництва пектину.

Технологічна схема сушіння жому складається з послідовно з'єднаних технологічних частин. Сушіння жому в представленій технологічною схемою здійснюється в два етапи: попереднє зневоднення жому до вологості 40...55% і подальша сушка в каскадній сушарці до вологості 12...14%.

Технологічна схема енергозберігаючої безвідходної технології сушіння жому представлена на рис. 6.3. Сушку і переробку бурякового жому на установці здійснюють наступним чином.

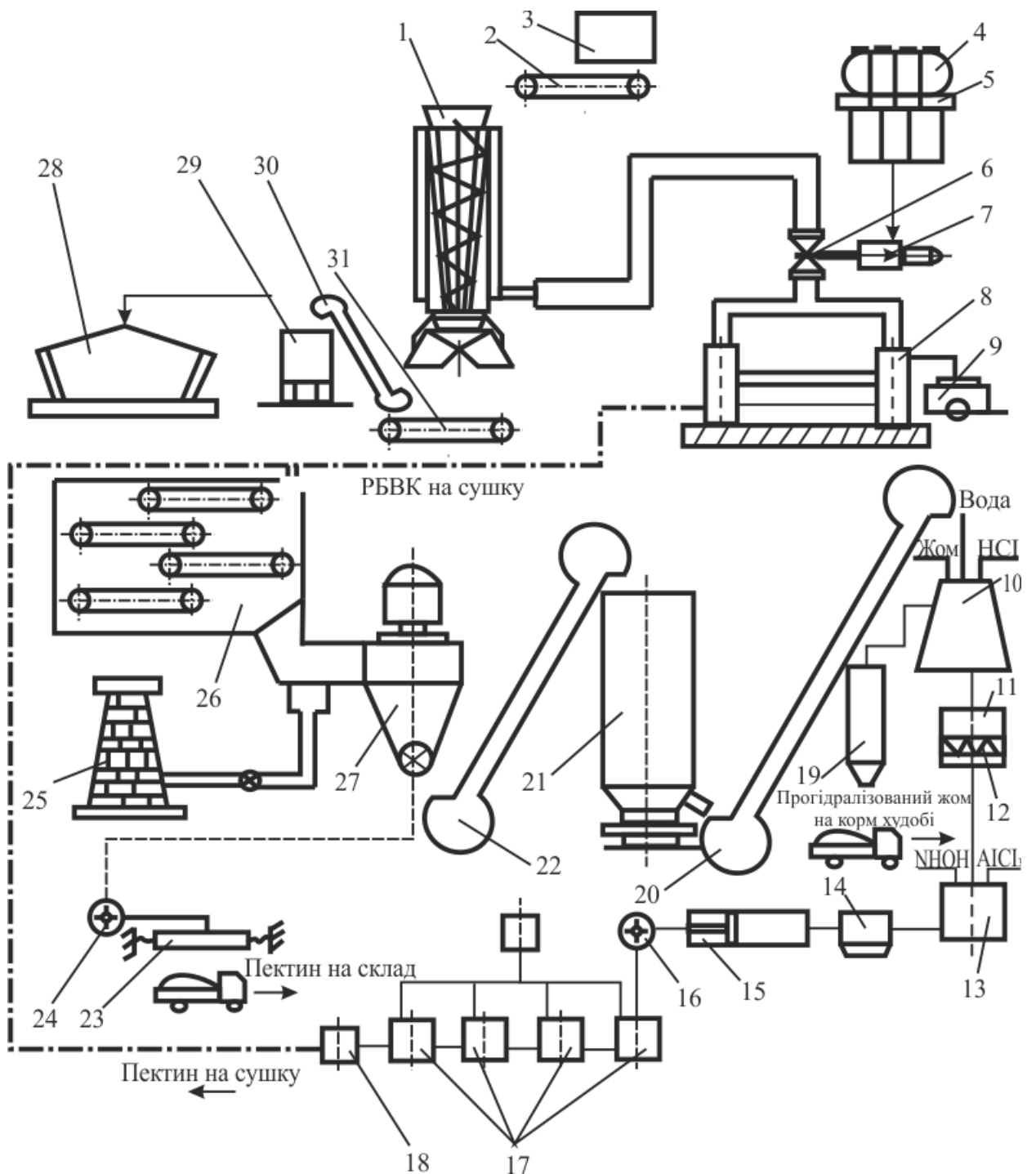


Рис. 6.3 – Технологічна схема енергозберігаючої безвідходної технології сушіння і переробки бурякового жому

Живильником 2 сирий буряковий жом вологістю 90...95% з дифузійного апарату 3 цукрового заводу подають у завантажувальний бункер шнекового преса 1, де буряковий жом пресують за рахунок зміни обсягу пресуючого матеріалу. При цьому відбувається поділ віджатого бурякового жому та віджатої рідини. Віджата рідина через отвори в матриці і отвори в самому шнеку поступає в ємності для коагуляції 8. Віджятий буряковий жом вологістю 40...55% через направляючий козирок надходить на

завантажувальний транспортер 31, який подає віджятий жом в сушарку 26, де жом рухається в протитоці з теплоносієм. Для послідовного надходження теплоносія на перфоровані каскадні транспортери встановлені перегородки.

В якості теплоносія використовують відпрацьовані гази котельні 25, що працює на газоподібному паливі. Відпрацьовані гази котельні температурою 170...200°C по трубопроводу подають до сушарки 26. Проходження відпрацьованих газів знизу вгору через сушарку забезпечує висушування матеріалу. Вихід відпрацьованих газів відбувається через вхідний отвір для завантаження бурякового жому. Повітряний потік захоплює висушений жом і по трубопроводу направляє їх в циклон 27. Транспортером 22 висушений жом направляється в ємність 21 для зберігання.

При відсутності сушильного обладнання і теплоносія віджятий буряковий жом піддають силосуванню. Для цього потік віджатої маси направляють в завантажувальний транспортер 30 і далі – в транспортний засіб 29 для доставки в наземну бетонну траншею 28, де методом трамбування маси створюють анаеробні умови для її подальшого силосування.

Концентрат низькомолекулярних органічних кислот (КНМК) готується в змішувачі 7, куди з ємності для зберігання 4 дозатором 5 подають 30 – 35% мурашиної кислоти, 25...30% оцтової, 15...20% пропінової і 5...6% інших органічних кислот. Потік віджатої рідини направляють через камеру змішування змішувача-дозатора 6, де його змішують з 1 %-ним розчином КНМК і тим самим забезпечують потоковість виробництва. Суміш КНМК і віджатого соку направляють в ємності для коагуляції 8, де коагуляція відбувається протягом 2–3 діб. В результаті коагуляції отримують білкову пасту, що випала в осад, і освітлену рідину. Випав білковий осад направляють в сушарку 26, в результаті чого отримують рослино білковий вітамінний концентрат. Освітлену рідину зливають в ємність 9 і використовують як добавку до раціону тварин або направляють на виробництво кормових дріжджів.

Гідроліз-екстрагування пектину ведеться при концентрації соляної кислоти 1,1...1,5%, гідромодуль процесу 1:( 15...16), температурі гідролісної суміші 75...76°C протягом 2 год. Транспортером 20 з ємності 21 висушений жом направляється для виробництва пектину. Процес здійснюється в дерев'яному вертикальному екстракторі 10 при періодичному перемішуванні. Екстрагування в такому апараті протікає уповільнено і неефективно. Не вся поверхня частинок бурякового жому бере участь у процесі, що й обумовлює низький ступінь екстрагування – 52%. Після закінчення часу гідролізу-екстрагування пектиновий екстракт фільтрується в проміжний збірник-відстійник 11, забезпечений охолоджуючими батареями 12. Прогідролізований жом заливають водою температурою 65...70°C і витримують протягом 40 хв. Отриманий вторинний екстракт фільтрують і приєднують до основного екстракту. Повторне екстрагування дозволяє незначно збільшити вихід пектину – на 1,5%. Прогідролізований жом

вивантажують з екстрактора 10 в бункер для безпектинової сировини 19 і після опріснення його ам'ячною водою направляють на корм великій рогатій худобі. Відстояний і охолоджений до 35...40°C пектиновий екстракт насосом подають у осаджувач 13 для виділення пектину з рідкої фази.

Екстракт бурякового пектину – це прозора рідина світло-сірого кольору; вміст пектинових речовин у ньому 0,5...0,8%; щільність екстракту – 1,01...1,02; рН 0,6...0,7.

Осадження пектину проводять хлористим алюмінієм при рН 6,51. Нейтралізацію пектинового екстракту здійснюють 25%-ним розчином гідроксиду амонію. Отриманий пектиноалюмінієвий коагулят – це пухкий осад темно-сірого кольору і вологістю після фільтрації 97...98%.

Пектино-алюмінієвий коагулят після попереднього віджиму в дренажних клітках 14 до вологості 94...98% подається на гідравлічні пакетні преси 15. Відпресований коагулят вологістю 73...75% подрібнюється на молотковій дробарці 16 і направляється в ємності для очищення 17.

Схема очищення включає 4 фази: 1) кратне співвідношення пектино-алюмінієвого коагулята і етилового спирту (міцністю 94...95%) – 1:2,5; концентрація соляної кислоти – 7,2%; тривалість процесу – 25...30 хв; 2) спирт міцністю 94...96% при кратному співвідношенні коагулята і спирту 1:4 протягом 15 хв; 3) чистий спирт міцністю 70% при співвідношенні 1:4, тривалість 15 хв; 4) спирт міцністю 94...96% з 0,4...0,75% гідроксиду амонію (для встановлення необхідного рН пектину), кратне співвідношення коагулята і спиртового розчину 1:3,5, тривалість обробки – 15 хв. Пектин відділяється від спирту в нутч-фільтрах 18.

Очищений пектин вологістю 48...50% подається на сушку. Після закінчення сушіння пектин подрібнюють у молотковій дробарці 24 і просівають на магнітному сепараторі 23.

Товарний сухий буряковий пектин являє собою сірувато-білий порошок, що володіє слабкокислим смаком, без стороннього присмаку і запаху. Водний 1%-ний розчин цього пектину має рН від 3,0 до 3,8. Не допускається в пектині вміст вільних мінеральних кислот і свинцю. Вміст солей миш'яку допускається в кількості не більше 0,5 мг / кг. Загальний вміст золи – не більше 3,5%. Вологість – не більше 14%. Міцність 2%-ного холодцю пектину повинна бути не нижче 300 мм рт. ст. (39,9 кПа). Вміст пектину – не менше 70%.

Необхідно зауважити, що у віджатій рідині міститься 98...99% води і 1...2% сухої речовини. У сухій речовині близько 30% протеїну. Установку для сушки та переробки жому розташовують поблизу труби котельні з метою зниження тепловтрат. Така схема знижує енерговитрати на сушіння і переробку жому на 90...95% і дозволяє здійснити безвідходність виробництва.

Сухий буряковий жом відноситься до найбільш перспективної сировини для отримання низькоетерифікованого пектину, тобто пектину з ступенем етерифікації менше 50%.



Для сушіння 1 т жому в барабанних сушарках необхідно затратити 300 м<sup>3</sup> газу. До складу запропонованої технологічної схеми сушіння бурякового жому входять шнековий прес і сушильна установка.

Підводячи підсумок, можна сказати наступне: аналіз існуючих технологій сушіння жому показує, що найбільш перспективною є безвідходна енергозберігаюча технологія з використанням в якості теплоносія відпрацьованих газів котелень, що працюють на газоподібному паливі;

запропонована енергозберігаюча технологія сушіння бурякового жому з попередніми його зневодненням за допомогою шнекового преса знижує енерговитрати на 85...87%, а використання відпрацьованих газів котельні при сушінні жому дозволяє скоротити витрати енергії на 90...95%;

виробництво пектину з бурякового жому дозволить істотно збільшити ступінь комплексної переробки його з отриманням набору цінних продуктів, а також підвищити якість цих продуктів і знизити їх вартість. Крім того, запропонована технологія переробки жому дозволить зменшити сезонність роботи цукрових заводів.

Технологія переробки рослинних і харчових відходів в кормові добавки і комбікорми способом мікробіологічної біоконверсії призначена для переробки сировинних компонентів, що не використовуються у традиційному кормовиробництві. В якості вихідної сировини можуть бути використані відходи зернопереробної, консервної та виноробної, пивоварної, спиртової, ефірноолійної, масложирової, кондитерської, молочної, чайної і цукрової промисловостей; рослинні компоненти сільськогосподарських культур (стебла зернових та технічних культур, кошики й стебла соняшнику, лляні багаття, стрижні кукурудзяних качанів, картопляна мезга, трава бобових культур, відходи сінажу та силосу, відходи виноградної лози, чайних плантацій, стебла тютюну).

За технологією сировинні компоненти (відходи), що містять складні полісахариди (пектинові речовини, целюлозу, геміцелюлозу та ін.), піддаються впливу комплексних ферментних препаратів, що містять пектиназу, геміцеллюлазу і целюлазу. Ферменти являють собою очищений позаклітинний білок, вони здатні до глибокої деструкції клітинних стінок і окремих структурних полісахаридів, тобто можуть здійснювати розщеплення складних полісахаридів на прості з наступною побудовою на їх основі легкозасвоюваного кормового білка.

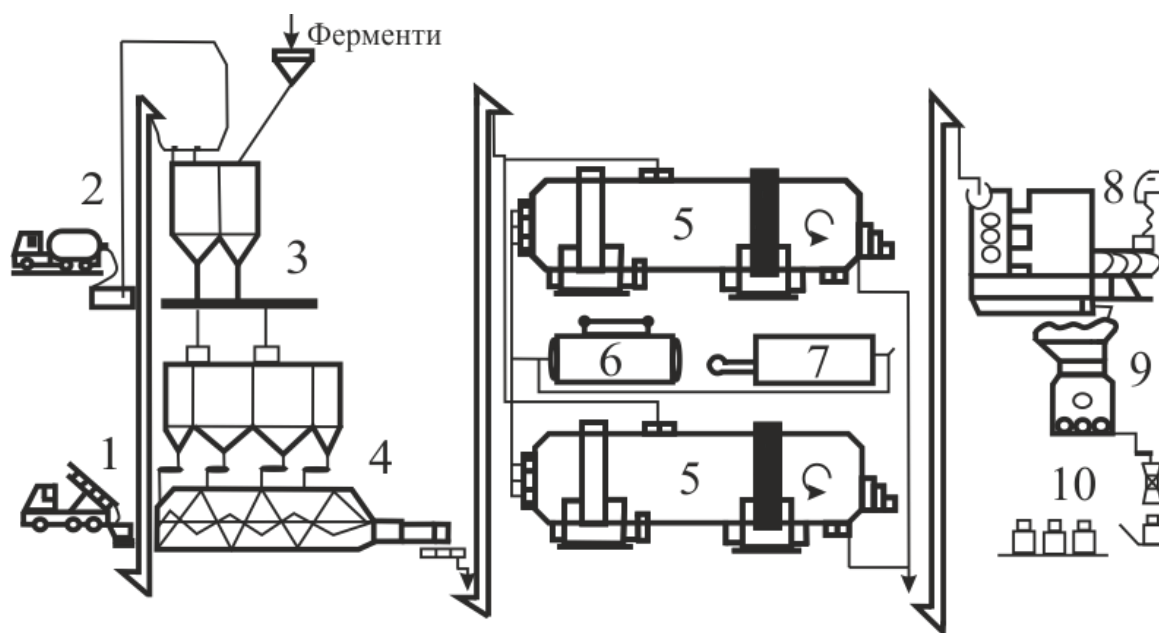
При цьому метод мікробіологічної біоконверсії дозволяє знищити в некондиційних компонентах хвороботворну мікрофлору, збудників важких захворювань, личинки паразитуючих найпростіших.

Кінцевим продуктом технології є кормова добавка – вуглеводнобілковий концентрат (ВБК). ВБК відрізняється високою поживністю (протеїн 22...26%), легкою засвоюваністю, біологічною активністю, а також ферментною, вітамінною та мінеральною цінністю.

Кормова добавка ВБК може використовуватися як основний компонент при виробництві комбікормів у співвідношенні 1:1, як добавка до грубих рослинних кормів, при виробництві простихкормових сумішей з подрібненим фуражним зерном, висівками, зерновідходами та ін.

Дана технологія екологічно безпечна, не має стічних вод і викидів. Ключовим елементом технологічного ланцюга є біореактор, в якому здійснюється процес мікробіологічної біоконверсії відходів у корми. Реактори є універсальним обладнанням, що дозволяють переробляти різну сировину і отримувати різні кормові добавки.

Технологічна схема виробничого комплексу з мікробіологічної переробки рослинних відходів у корми представлена на рис. 6.4.



1 – приймання сипучої і вологої сировини; 2 – приймання рідкої сировини;  
3 – бункер-дозатор; 4 – змішувач; 5 – біореактор; 6 – компресор;  
7 – парогенератор; 8 – сушарка; 9 – подрібнювач; 10 – відгрузка в мішки

Рис. 6.4 – Технологічна схема мікробіологічної переробки рослинних відходів у корми

За технологічною схемою волога суміш (55%) різних відходів завантажується в біореактор. З моменту завантаження сировини в біореакторі процес мікробіологічної біоконверсії протікає протягом 4...6 днів (залежно від бажаних зоотехнічних параметрів кінцевої продукції). В результаті отримують вологу кормову добавку – вуглеводно-білковий концентрат, який сушать до вологості 8...10% і подрібнюють. Після подрібнення концентрат використовують для виробництва комбікормів з нормою введення 25...65% в залежності від рецептури і цільового призначення комбікорму.

Застосування бурякового жому в харчових виробництвах обмежено вмістом у ньому шкідливих речовин, що накопичуються в процесі вегетації

культури (нітрати, нітроти, радіонукліди, важкі метали). У жомі також міститься фенолоксидаза, що обумовлює процеси потемніння сировини.

За технологією миті коренеплоди піддають паротермічній обробці в апараті. При цьому досягається поверхнєве руйнування клітинної структури, що полегшує відділення невживаного поверхневого шару коренеплодів. Відбувається підвищення проникності тканин, інактивація окисних ферментів, а також знищення мікроорганізмів.

Далі з коренеплодів видаляють шкірку за допомогою лопатевих і щіткових машин. Очищені коренеплоди подрібнюють до розмірів не більше 5 мм і гідротермічно обробляють. При цьому додають 0,2...0,3% лимонної кислоти. Отримана бурякова маса відділяється від соку за допомогою шнекового стікача і преса, а потім повторно піддається обробці і пресуванню для видалення розчинних речовин. Отримана маса висушується, подрібнюється, упаковується і надходить на виробництво кондитерських виробів.

Готовий порошкоподібний напівфабрикат з бурякового жому (ПНБЖ) з розмірами частинок 20...40 мкм має білий колір і нейтральний смак, нехарактерні для вихідної сировини. Вміст сухих речовин ПНБЖ становить 95...98%, з них 24% припадає на клітковину, 22% – на гемоцелюлозу, 46% – на пектинові речовини, по 2% займають лігнін і білки, 1% – ліпіди, 2% – мінеральні речовини, 0,5% – розчинні цукри, 0,5% – органічні кислоти.

Харчові волокна бурякового жому сприяють покращенню моторної функції шлунково-кишкового тракту, накопичують і виводять з організму радіонукліди, токсичні елементи, пестициди, патогенну мікрофлору, є пробіотиками, збільшується відчуття насичення, знижують ризик ожиріння, серцево-судинних захворювань, діабету.

Також розроблена технологія утилізації фільтраційного осаду. В її основу покладений особливий спосіб випалу фільтраційного осаду, що не потребує спеціальної підготовки – попереднього пресування в брикети і підсушування.

В результаті реалізації технології отримують адсорбент, сатураційний газ і вапно. Спеціальне обладнання, розроблене для сушки фільтраційного осаду і його термообробки, в залежності від заданого режиму, дозволяє отримувати різний кінцевий продукт.

Адсорбент є проміжним продуктом при прожарюванні фільтраційного осаду в вапно, який за технологічною схемою можна вивести для використання в сокоочисному відділенні.

Висушування матеріалу проводиться сумішшю продуктів горіння газу, повітря і генераторного газу, одержуваного при піролізі органіки фільтраційного осаду в електропечі. Електропеч оснащена регулятором температури, що дозволяє вести процес прожарювання в заданому режимі і отримувати кінцевий продукт з заданими властивостями.

Отриманий сухий осад може використовуватися як вапно, адсорбент (наприклад, для очищення дифузійного соку) або як вапняне добриво.

Отримання вапна і сатураційного газу з фільтраційного осаду дозволяє скоротити витрати вапняку до 80% від необхідного кількості, зменшити матеріальні витрати і витрати на його перевезення.

В цукровій промисловості розроблена технологія використання дефекосатураційного осаду сирцевого виробництва в якості адсорбенту при очищенні напівпродукту з високим вмістом фарбувальних речовин. Безкольоровий відтінок знаходить застосування для клерування (освітлення, очищення) цукру-сирцю.

Розроблено спосіб використання дрібних фракцій (менше 30 мм), одержуваних при переробці вапнякового каменю. Дрібна фракція може використовуватися для очищення дифузійного соку, що дозволяє в 1,5...2 рази скоротити витрати вапна і підвищити технологічні показники очищеного соку. Переробка дрібнофракційного вапняку здійснюється в універсальному дезінтеграторі – активаторі, що сприяє не тільки його подрібненню, а й активації частинок, при якій цілеспрямовано змінюються фізико-хімічні та технологічні властивості речовин.

Нанокристалічна целюлоза (НКЦ) по міцності подібна до вуглецевих нанотрубок і здатна до формування армуючих сіток в полімерах.

Області застосування нанокристалічної целюлози представлені на рис. 6.5. Окремі технології пройшли апробацію і мають широке поширення, частина розробок знаходиться на стадії поглибленого вивчення.

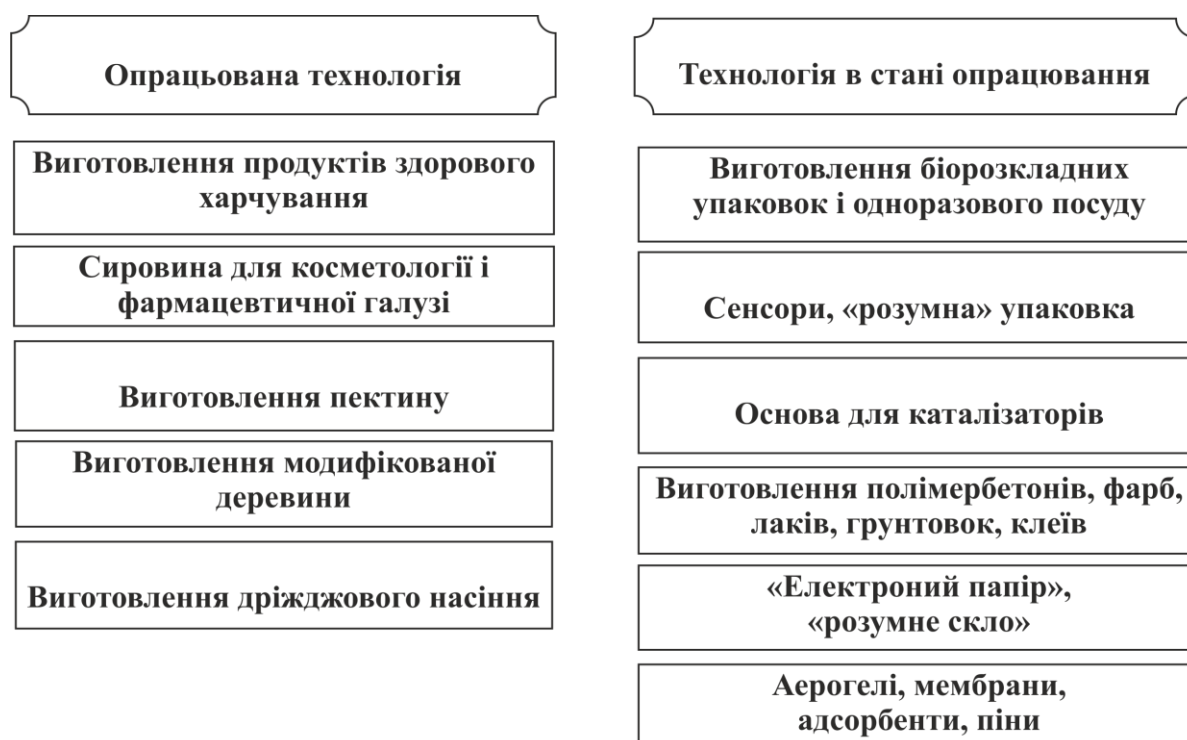


Рис. 6.5 – Сфери застосування нанокристалічної целюлози

Перспективний напрямок застосування НКЦ – створення біорозкладаних матеріалів для виробництва харчової упаковки. В наноструктурованій упаковці один компонент є синтетичним, інший –

природного походження. Упаковка із застосуванням НКЦ має швидку біодеструкцію і можливістю саморозкладу. Основними областями застосування такої упаковки можуть бути: одноразовий посуд, мішки для сміття і органічних відходів, плівки сільськогосподарського призначення та ін.

Також пропонується використання nanoцелюлози для модифікації деревини.

Основу розробки становить наповнення гелеподібною нанокристалічною целюлозою каналів в структурі деревини під дією тиску. Обробка проводиться на етапі підготовки деревини до подальшого пресування. В результаті насичення структури частками nanoцелюлози деревина набуває твердість нелегованої сталі, має високу вологостійкість, стабільність форми, декоративність.

НКЦ знаходить застосування в процесі виробництва паперу. Папір з НКЦ, порівняно зі звичайним, має більш високі показники міцності і стійкості до механічних впливів, має гарну вологоутримуючу здатність.

Перспективно застосування нанокомпозитної целюлози в клейових виробках з модифікованої деревини в вузлах мостових кранів, кран-балоків, лебідок; вузлах тертя конвеєрів, транспортерів, шнеків, рольгангів; вузлах тертя насосів та компресорів; в ковальсько-пресовому обладнанні; ливарному та металопрокатному обладнанні; вузлах тертя машин, що працюють в агресивних середовищах; в дорожньо-будівельній техніці; сільськогосподарської техніці; машинах і механізмах морського і річкового флоту.

## **6.2. Виноробство**

В результаті промислової переробки винограду залишається велика кількість вторинних продуктів (відходів), які складають від 10 до 20% від кількості винограду, що переробляється.

При бродінні сусла, переробці винограду на сусло, обробці та перегонці виноматеріалів утворюються відходи, до складу яких входять цінні компоненти: цукор, спирт, виннокислі з'єднання. Для отримання корисних компонентів відходи необхідно комплексно переробляти. Відходи, які потребують переробки, називають вторинною сировиною (вичавки, дріжджові і гущеві осади, коньячна барда).

*Гребені.* Вихід гребенів становить від 1,8 до 8,5%. При дробленні ягід гребені змочуються суслom і в них залишаються окремі ягоди. Гребені пресують і отримують близько 0,8...1 дал гребневого сусла на 1 т переробленого винограду. Цукристість гребневого сусла залежить від цукристості винограду і ступеня зрілості гребенів. При пресуванні зелених і соковитих гребенів з них віджимається сік, останній розбавляє гребневе сусло, і цукристість його знижується. При пресуванні гребенів з сорту «Рислінг» з цукристістю 15,4 г / 100 см<sup>3</sup> було отримано гребневе сусло з

цукристістю 7,5 г / 100 см<sup>3</sup>, з сорту «Трамінер» – відповідно 17,2 і 13. З сусла, отриманого з гребенів високоцукристого і здорового винограду готують купажні матеріали для міцних вин. З винограду з низьким вмістом цукру і пошкодженого отримане гребневе сусло зброджують і переганяють на спирт. Гребені після пресування відвантажують для приготування добрива.

*Вичавки.* За типом застосовуваних пресів вичавки ділять на дві групи: вичавки після пресування на гвинтових, гідравлічних і стрічкових пресах; вичавки після пресування на шнекових пресах.

В даний час на виноробних підприємствах мезгу допресовивають на шнекових пресах. За даними ВНПВіПП «Магарач», при переробці винограду на лініях ВПЛ-20 вихід сусла збільшився в середньому на 2...6 дал з 1 т винограду в порівнянні з переробкою на гвинтових і гідравлічних пресах. У той же час зменшився вихід вичавок до 8...12% (з 14...20%).

За способом виноробства вичавки ділять на три групи: вичавки за білим способом виноробства (солодкі, свіжі, чи не бродили, сахаросодержащие); вичавки за червоним способом виноробства (зброжені, спиртовмісні); вичавки спиртовані, отримані з спиртованих мезги.

При приготуванні виноматеріалів для десертних і міцних вин з підброджуванням мезги отримують вичавки змішаного типу зі спиртом і цукром. Вичавки змішаного типу доброджують в сховищах і переробляють як зброжені.

Вологість вичавок становить близько 55%. Хімічний склад вичавок залежить від хімічного складу винограду, технології його переробки і ступеня віджимання сусла. Цукру в солодких вичавках міститься 25...30% від його концентрації в суслі. При цукристості сусла 20 г / 100 см<sup>3</sup> вміст цукру в вичавках становить 5...6% за масою вичавок.

Якщо мезга бродить, то склад вичавок змінюється. Частина спирту дифундує в клітини шкірки, і вихід спирту із зброджуваних вичавок більший, ніж із солодких, при одній і тій же цукристості сусла. Хімічний склад виноградних вичавок без гребенів наведено в табл. 6.2.

**Таблиця 6.2. – Хімічний склад виноградних вичавок без гребенів**

Показник, %	Вичавки:		
	солодкі	зброжені	спиртовані
Цукор	5 – 10	–	4 – 6
Спирт	–	4 – 5	4 – 8
Винна кислота	0,5 – 2,0	0,7 – 2,5	1,2 – 3,0
Насіння	15 – 35		
Олія в насіннях	10 – 18		

*Насіння.* При переробці солодких вижимо після вилучення в екстракт цукрів і виннокислих з'єднань, а також фарбувальних речовин, з вижимок відокремлюють насіння для отримання масла і енотаніна. Промиті вичавки

пропускають через різні насінно-віддільні пристрої: зернопульт, віялку-сортувальник, протиральні машини. На сортувальних машинах барабанного типу насіння відділяється недостатньо (близько 40%).

Виділення насіння на машині відбувається наступним чином. Вичавки з пресів надходять в приймальний бункер завантажувального елеватора і шкребками направляються в розпушувач. Після подрібнення вони надходять на верхнє решето, звідки насіння і дрібні частинки шкірки просіваються і потрапляють послідовно на друге, третє і четверте решета нижнього стану.

При сходженні з решета частинки насіння очищаються за допомогою вентилятора. Вихід насіння становить близько 80% від загального вмісту їх в вижимках.

Насіння, задля уникнення пліснявіння, піддають сушінню при температурі не вище 100°C. Для сушіння насіння застосовують парові конвеєрні сушарки.

*Сульфитовані осади.* Сульфитованими називають осади, отримані при освітленні сусла. Такі осади охолоджують, сульфитують, обробляють бентонітом, флокулянтами і повторно відстоюють або фільтрують на рамних фільтрах. Освітлене сусло направляють на приготування виноматеріалів, а густі осади зброджують і враховують як дріжджові (але не змішують з ними), так як в них мало виннокислих з'єднань і з них витягують тільки спирт.

*Діоксид вуглецю* утворюється при бродінні сусла. Під час зброджування 1 кг цукру отримується близько 0,49 кг CO<sub>2</sub>. Діоксид вуглецю виділяється з сусла з парами спирту та ефірних масел. Залежно від температури бродіння, кількості зброженого цукру і способу бродіння втрати спирту з CO<sub>2</sub> становлять 0,17...1,5%.

*Дріжджові осади.* За типом виробництва виноматеріалів дріжджові осади ділять на дві групи. Дріжджові осади, отримані при приготуванні сухих виноматеріалів, називають сухими; дріжджові осади, отримані при приготуванні кріплених виноматеріалів, називають кріпленими.

За змістом сухої речовини розрізняють: рідкі дріжджові осади (12%), густі (12...30%), віджаті/пресовані (30...60%).

На сьогоднішній день переробляють пресовані дріжджові осади. Їх вихід становить 3...8% від обсягу сусла. Склад віджатих дріжджових осадів залежить від типу вироблюваних виноматеріалів. Вміст винної кислоти в віджатих дріжджах коливається від 3 до 6%.

*Осади, одержувані під час переливання виноматеріалів.* Такі осади фільтрують і переробляють як дріжджові. Їх відходи, за виробничими даними, при догляді за виноматеріалами на першому році становлять – 0,2%, на другому році – 0,1% і на третьому році – 0,05%.

*Клейові осади.* Клейові осади фільтрують і переганяють на спирт-сирець. Відходи клейових осадів становлять 0,2...0,25% від обсягу виноматеріалів. Під час обробки виноматеріалів бентонітом в поєднанні з іншими обклеюючими речовинами відходи складають 90% обсягу 20%-ої водної суспензії.

*Осади ціанідів.* Осади ціанідів фільтрують і знищують через небезпеку утворення токсичних речовин при перегонці.

*Осади, отримані при обробці виноматеріалів і соків холодом.* У таких осадах містяться кристали  $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ . Осади фільтрують, промивають холодною водою і сушать. Утворений  $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  – цінна сировина для отримання винної кислоти.

*Крейдяні осади.* Крейдяні осади отримують при обробці виноматеріалів і суслу крейдою ( $\text{CaCO}_3$ ). Опади фільтрують, промивають, сушать і застосовують для отримання виннокам'яної кислоти (ВКК).

*Сирий винний камінь* відкладається на внутрішній поверхні ємностей. До складу відкладень входять:  $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  – 83%,  $\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  – 5,4% і домішки – 11,6%. Відкладення винного каменю збирають як цінну сировину для винної кислоти.

*Коньячна барда.* Під час перегонки виноматеріалів у барді залишаються виннокислі з'єднання. Кількість барди, що містить виннокислі сполуки, залежить від способу перегонки виноматеріалів: при дворазовій перегонці – 60%, при одноразовій – 85% обсягу виноматеріалу. Вміст ВКК в барді коливається від 2 до 5 г /  $\text{дм}^3$ .

Загальна комплексна переробка відходів дозволить отримати цінні продукти, необхідні для ряду галузей народного господарства: етиловий спирт, винну кислоту, виноградне масло, поліфенольні концентрати, слабоалкогольні та безалкогольні напої та інші продукти харчового, косметичного, фармацевтичного та енергетичного призначення.

У багатьох державах це питання давно вирішене. Виробники Франції, Італії, Швейцарії та інших країн з насіння винограду отримують фуражні корми, харчовий порошок, абразивні матеріали (дрібнозернисті речовини високої твердості, які використовуються для обробки поверхонь з металу, дерева та ін.), енотанін і виноградне масло, яке завдяки високій концентрації поліненасичених жирних кислот (лінолевої), по харчовій цінності перевершує соняшникове, соєве та кукурудзяне. Піддаючи виноградне масло ультрафіолетовому опроміненню, виробляють вітамін D. Виноградну лозу, яка залишається після обрізки виноградників, і яку в багатьох країнах СНД просто спалюють, у Франції використовують для виготовлення деревних плит.

Успіхи розвинених країн у переробці та утилізації відходів виноробства досягаються завдяки реалізації державних програм, а також потужній науково-дослідній базі.

Так, наприклад, безвідходна технологія впроваджена в Болгарії. Болгарське об'єднання «Вінпром» в районах, де вирощуються білі сорти винограду, створило спеціальні утилізаційні цехи, що займаються екстракцією цукру з солодких вичавок з відділенням і сушінням виноградного насіння. Екстраговані вичавки надходять для відгодівлі тварин на підприємства агрокомплексу. Там, де вирощуються переважно червоні сорти винограду, проводять комплексну переробку виноградних вичавок з



отриманням барвника, кормового борошна і виннокислих з'єднань.

Зацікавленість до вторинних продуктів виноробства у всьому світі зростає з кожним днем: вони мають цінні властивості і приносять високу додаткову вартість. У Молдові це усвідомили на державному рівні. З 2004 р. в республіці діє програма з переробки та використання вторинних продуктів виноробної промисловості та отримання нових. Вона передбачає фінансування низки наукових проектів. У 2012 – 2013 роках на ці цілі з бюджету виділено по 1,2 млн. леїв.

Один з проектів держпрограми по вторинним продуктах виноробства передбачає розробку і впровадження нових технологій отримання редуцтонів – речовин, які мають відновні властивості. Це винна кислота і її похідні, що використовуються в фармацевтичній, харчовій, хімічній та текстильній галузях. У країнах Західної Європи потреби в цьому продукті задоволені лише на 40%. Основні його виробники – Італія, Франція, Іспанія. Нещодавно дефіцит компенсували китайські бізнесмени, що виробляють вину кислоту з нафтопродуктів. Проте в ЄС заборонили її застосування. На сьогоднішній день затребуваний тільки натуральний продукт, традиційними джерелами якого є відходи виноробства. Сировинний потенціал в Україні дозволив би країні, при створенні необхідних потужностей, виробляти винну кислоту і постачати її на європейський ринок, збільшуючи цим самим фінансові потоки в бюджет.

В Україні ж проблема утилізації вторсировини не отримала належної уваги.

Розроблена державою Програма розвитку виноградарства і виноробства до 2025 року, основною задачею якої є збільшення конкурентоздатності виноградарства і виноробства в умовах інтеграції України у світовий економічне співтовариство, залишає це питання відкритим. Досі не створено підприємства з переробки відходів виноробства, що говорить, по-перше, про неекономне використання ресурсів, по-друге, про великі втрати матеріальних засобів. Наприклад, виноградна вичавка містить в середньому 24 г/кг поліфенолів винограду, які є потужними антиоксидантами рослинного походження. На світовому ринку мінімальна ціна одного грама поліфенолів становить \$ 2. Таким чином, при переробці 100 тис. тонн винограду щорічно у вигляді невикористаних поліфенолів винограду втрачається більше \$ 700 млн.

Інший цінний продукт амівіт – єдиний натуральний продукт, найбільш багатий вітамінами групи В і високопоживними речовинами, одержуваний з дріжджів від сухого виноградного вина. За попередніми розрахунками рентабельність виробництва цього вітамінного концентрату складає 70% при собівартості однієї річної людино-доза 2,80 грн. Таке виробництво є високоефективним, але потребує матеріальних вкладень. При цьому необхідно вказати, що валовий урожай винограду склав 415,2 тис. тонн. З них 250000 тонн направлено на переробку. Вторинні продукти виноробства, тобто вичавки і всі компоненти, що містяться в них, складають від 10% до

20%. Це в кількісному відношенні рівняється 37500 тонн (шкірка – 50% або 18750 тонн; гребені – 25% або 9375 тонн; насіння – 25% або 9375 тонн; дріжджі – 3,5...8,5% від початкової кількості винограду або 24912 кг.

За даними таблиці видно, що з відходів виноробства можна виробити велику кількість продуктів, багато з яких високо цінуються на світовому ринку.

**Таблиця 6.3 – Продукти переробки вторинної сировини та відходів виноробства**

Вторинна сировина, відходи	Отримуваний продукт	Вихід продукту переробки вторинної сировини (відходів)	Кількісний вигляд	Ринкова ціна	Дохід від реалізації
1	2	3	4	5	6
Шкірка	Кормове борошно	311 кг на 2 т. вичавок	11662,5 кг	–	–
	Кормові суміші	Отримують з кормового борошна	–	–	–
	Гранульований корм		–	2,77 грн. за 1 кг	–
	Комбікорм		–	–	–
Насіння	Вітамін Д	–	–	15 грн. за 15мл.	–
	Білковий корм, добрива	–	–	–	–
	Виноградна олія	15,25 %	1430000 кг (1524520300 л)	у вигляді рослинної олії – 56 грн. за 0,1 л; лікарського засобу – 250 грн. за 0,1 л; засіб косметології – 160 грн. за 0,1 л	85373136,8 тис. грн.; 381130075 тис. грн.; 243923248 тис. грн.
	Фурфурол	–	–	–	–
	Танін	2,94 %	275600 кг	800 грн. за 1 кг.	220480 тис. грн.
Гребені	Оцет	0,85 %	79700 кг	17 грн. за 250 мл	–
	Паливо	–	–	–	–

Продовження табл. 6.3

1	2	3	4	5	6
Дріжджі	Кормові дріжджі	–	–	–	–
	Енантовий ефір	0,04 % на 1250 кг.	9,96 кг	–	–
	Альдегіди	–	–	–	–
	Білковий корм	325 кг. на 100 дал пресованих дріжджів	–	–	–
	Спирт-сирець	9,69 дал на 100 кг. дріжджів	–	–	–
	Спирт-ректифікат	–	–	32 грн. за дал	–
	Вищі спирти	–	–	–	–
Вичавки	Енеофарбник (сухий порошок)	–	–	40 грн. за 1 кг	–
	Виннокисле вапно	8,25 кг на 1 т	309,4 кг	–	–
	Винна кислота і її солі	5,5 кг на 1 т	206,25 кг	для фармацевтики – 6400 грн.; для харчової промисловості – 300 грн.; для інших галузей – 32 грн.	1320 тис. грн.; 57750 грн.; 6600 грн.

На сьогоднішній день в українській галузі виноробства повільно розвиваються енергозберігаючі технології (в більшості – за рахунок рекуперації тепловлі енергії). При цьому технології, що передбачають комплексну переробку основної сировини, вторинної сировини та відходів для вітчизняного ринку не користуються попитом та залишаються незатребуваними. Через такий застарілий підхід управлінського корпусу та маркетингової політики на виноробних підприємствах, що зовсім не відповідає реальним умовам та потребам ринку, Україна втрачає мільйони гривень, які б могли поповнити державний бюджет.

Для вирішення даного питання необхідні цілеспрямовані спільні дії держави, науки і виробництва. Реалізація комплексу дій вимагає значних інвестицій і високої інноваційної активності підприємств. На жаль, сьогодні інноваційна активність українських підприємств споживчого сектора виявляє тенденцію до зниження і не демонструє кореляції з динамікою інвестиційних

процесів, що свідчить про слабку інноваційну спрямованість інвестицій. За період 2003 – 2004 рр. кількість підприємств виноробної промисловості, які займалися інноваційною діяльністю, скоротилася з 1496 до 1193 (на 20,3%).

У ситуації, що склалася, на державному рівні необхідно:

1) активізувати заключення міжнародних угод по інноваційно-технологічну співпрацю в рамках реалізації державної інноваційної політики та прямих двосторонніх угод між іноземними та українськими підприємствами на основі норм міжнародного права;

2) сприяти впровадженню системи нових способів фінансування науково-технічної сфери виноградовиноробного сектора;

3) створювати потужності з переробки та утилізації вторинних продуктів виноробства;

4) стимулювати співпрацю виноробних підприємств з науково-дослідними центрами з наступним впровадженням розроблених нових технологій, оскільки сьогодні саме в них приховані великі можливості утилізації вторинних продуктів та відходів виноробства.

При реалізації даних заходів виноробна галузь України перейде на якісно вищий рівень. Впровадження технології безвідходного виробництва дозволить отримувати ряд продуктів, необхідних іншим галузям народного господарства, підвищити ефективність виноробних підприємств, а також стимулювати їх експортну орієнтацію. Важливим для України є також досвід зарубіжних країн, зазначений вище. Його застосування з урахуванням національних особливостей дозволить вітчизняним виноробним підприємствам стати більш конкурентоспроможними і покращити показники діяльності, наблизивши їх до світових.

### **6.3. Галузь пивоваріння**

#### **6.3.1. Характеристика вторинних ресурсів пивоварного виробництва**

Пивоварна галузь є однією з найбільш динамічних і займає важливе місце у переробній промисловості України. Щодо стратегій розвитку, то на сьогоднішній день рентабельність підприємств цієї галузі є однією з найвищих і темпи приросту виробництва з кожним роком збільшуються. Все це зумовлює необхідність розробки та реалізації конкурентної стратегії в подальшому розвитку галузі.

До відходів пивоварного виробництва відносяться солодова дробина, білковий відстій, залишкові дріжджі, дека і вуглекислота.

*Солодова (пивна) дробина.*

Основну частину відходів пивоварних заводів займає солодова дробина та надлишкові дріжджі. Пивна дробина – осад, що утворюється після фільтрації пивного сусла в процесі варки пива (рис. 6.6). Це натуральний, екологічно чистий продукт з високим вмістом протеїну (в 2–3 рази більшим, ніж в ячмені), високоякісний корм для тварин без хімічних домішок.



*Рис. 6.6 – Зовнішній вигляд пивної дробини*

З 100 кг сухого солоду виходить 125...135 кг сирі дробини, яка містить 20...25% сухих речовин. До складу дробини (табл. 6.4) входить ряд цінних поживних речовин. Так, в дробини залишається близько 70% білків і 80% жиру, що містяться в солоді.

*Таблиця 6.4 – Середній хімічний склад солодової дробини*

Дробина	Склад, %					
	вода	білок	безазотні речовини	жир	клітковина	зола
Сира	75,0	5,0	11,0	2,0	6,0	1,0
Висушена	10,5	19,0	38,0	7,5	18,0	7,0

Ці речовини роблять дробину цінним кормом для тварин. Дробина може використовуватися для корму в сирому і висушеному вигляді. Висушена дробина містить 11...12% вологи і може зберігатися тривалий час.

Солодова дробина утворюється як залишок після відділення рідкої фази – пивного суслу – в процесі фільтрації затору. Дробина складається з рідкої (45%) і твердої фаз (55%). Тверда фаза дробини містить оболонку і нераствориму частину зерна. Склад дробини залежить від якості солоду, кількості несоложеного сировини, а також сорти виготовленого пива.

На підприємствах пивоварної промисловості щорічно скупчується велика кількість дробини вологістю 70...80%, яка містить в середньому більше 20% сухих речовин з високим рівнем протеїну (12...15%). Традиційно пивоварні заводи України відрізняються від таких розвинених країн, де в технологічному ланцюжку закладена операція по сушці пивної дробини. Пивна дробина там є повноцінним продуктом виробництва і знаходить широке застосування.

Водночас на полігонах пивоварних підприємств в даний час скупчилися сотні тисяч тонн пивної дробини. Ця суміш рослинних і мікробних білків, складних вуглеводів, органічних кислот та інших речовин,

складованих на відкритих майданчиках і в котлованах полігонів, вже на третій день виділяє в біосферу отруйні продукти гідролізу і гниття (у тому числі гази з поганими запахами – скатол, індол, аміак). В такому стані відходи здатні лежати в «могильниках» до 50 років, активно забруднюючи біосферу своїми виділеннями. Хімічні продукти розпаду, поступово проникаючи в ґрунт, отруюють ґрунтові води, землі стають непридатними до господарського використання на десятки років (причому з непередбачуваними екологічними наслідками).

Пивоварні заводи зацікавлені у продажу пивної дробини, особливо в теплий період року, коли вона схильна до інтенсивного розкладання з масою несприятливих ефектів. Збут пивної дробини здійснюється за договірною ціною.

Отже, пивоварним заводам економічно не вигідно відправляти пивну дробину на звалище. Залишається одне: такі відходи слід переробляти самостійно або продавати іншим організаціям. В сучасних умовах останнє виглядає переважніше. Проте охочих придбати пивну дробину у пивоварів мало. Тому причиною незнання всього потенційного спектру її застосування, слабка технологічна оснащеність. Щорічно на пивоварному заводі середньої потужності йде у відходи 35000 тонн пивної дробини. При таких масштабах вмале і дбайливе використання відходів і побічних продуктів не тільки може дати відчутний дохід переробнику цих відходів, а й усунути загрозу забруднення навколишнього середовища.

Екологічна ситуація, що створилася гостро потребує вирішення питання утилізації багатотонних відходів пивної дробини.

З іншого боку, відходи пивоваріння звертають на себе увагу як джерело комплексу речовин з харчовою цінністю і біологічною активністю.

У таблиці 6.5 представлений хімічний склад свіжої (сирої) і сухої пивної дробини.

**Таблиця 6.5 – Хімічний склад пивної дробини (в 1 кг)**

Показник	Сира	Суха
1	2	3
Суша речовина, г	232	887
Сирою протеїн, г	58	217
Лізин, г	2,2	7,7
Метіонін + цистин, г	1	3,5
Сира клітковина, г	39	160
Безазотисті екстрактивні речовини (МЕВ), г	107	406
Сирою жир, г	17	60
Кальцій, г	0,5	3
Калій, г	0,3	1,7
Фосфор, г	1,1	6,6
Магній, г	0,4	1,9
Натрій, г	0,65	3
Залізо, г	50	290

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Мідь, мг	2,2	21,3
Цинк, мг	22	108
Марганець, мг	8	37,6
Кобальт, мг	0,05	0,2
Йод, мг	0,02	0,1
Каротин, мг	1,6	
Вітамін Е (токоферол), мг	14	23
Вітамін В <sub>1</sub> (тіамін), мг	0,2	0,6
Вітамін В <sub>2</sub> (рибофлавін), мг	0,3	0,9
Вітамін В <sub>4</sub> (холін), мг	510	1300
Вітамін В <sub>5</sub> (нікотинова кислота), мг	13	36

У відсотковому відношенні склад сухої пивної дробини виглядає наступним чином.

*Таблиця 6.6 – Склад сухої пивної дробини, %*

Загальний хімічний склад	
<b>1</b>	<b>2</b>
волога	8,67
сирий протеїн	23,44
сирий жир	7,75
сира зола	2,5
сира клітковина	14,3
безазотисті екстрактивні речовини	43,44
Мікроелементи	
кальцій	0,37
фосфор	0,5
марганець, мг / кг	52
цинк, мг / кг	105
залізо, мг / кг	205
мідь, мг / кг	15
Амінокислоти	
лізин	0,86
гистидин	0,66
аргінін	1,07
аспарагінова кислота	1,35
треонин	0,77
серін	0,89
глутамінова кислота	4,57
пролін	2,05
гліцин	0,79
аланін	0,94
цистин	0,46
валін	1,06
метіонін	0,5

1	2
изолейцин	0,79
лейцин	0,57
тирозин	0,61
фенілаланін	1,23
всього амінокислот	19,17
У тому числі незамінних амінокислот	7,51

Настільки багатий білково-мінеральний склад пивної дробини визначає її використання в різних галузях народного господарства.

*Білковий відстій.* Використовується в суміші з іншими кормами. До складу білкового відстою входять цінні поживні речовини (білкові речовини, вуглеводи, мінеральні речовини), але хмелеві смоли, що частково перейшли в осад, надають йому гіркий смак, і тому в якості корму для худоби відстій використовується не в чистому вигляді, а в суміші з іншими кормами. Проводяться роботи з використання білкового відстою для годування риб (Чехословаччина). Середній хімічний склад білкового відстою, %: вода – 80,0; білкові речовини – 7,0; клітковина – 1,2; безазотистих екстрактивні речовини – 7,7; зола – 1,2; хмелеві смоли – 3,3.

*Залишкові дріжджі.* На 100 л готового пива виходить приблизно 2 кг рідких дріжджів, з них близько 0,8 кг використовується як насіннєвих і 1,2 кг – залишкові дріжджі. До складу сухих речовин (14...15%) дріжджів входять азотисті речовини, жир, безазотистих екстрактивні речовини, клітковина, зола, а також ферменти і вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, Н, Е і провітамін D (ергостерин).

Більшість речовин, що входять до складу дріжджів, легко засвоюються живим організмом. Білкові речовини засвоюються на 90%, жири – на 70%, вуглеводи – майже повністю. Таким чином, дріжджі є високоякісним харчовим продуктом і їх використовують для харчових і кормових цілей.

До складу пивних дріжджів входять такі життєво важливі речовини, як вітаміни. Вміщені вітаміни комплексу В беруть участь в регулюванні обміну речовин в організмі. Дріжджі містять ергостерин, який під дією ультрафіолетових променів перетворюється на вітамін D, що оберігає молодий організм від захворювання на рахіт. В пивних дріжджах містяться також всі основні амінокислоти, необхідні для створення білків, і нуклеотиди, які є основною частиною внутрішніх органів, зокрема печінки. Завдяки цим якостям дріжджі застосовуються в медицині та у фармацевтичній промисловості.

В пивоварній промисловості відомий спосіб використання залишкових дріжджів для приготування сушених дріжджів. Сушіння проводять в металевих сушильних барабанах, шафах або на вальцевих сушарках. Дріжджі, застосовувані для лікувальних цілей, сушать за температури 35...40°C, щоб не зруйнувати ферменти і вітаміни. Сушка дріжджів для кормових і харчових цілей виробляється при більш високих температурах.



Добре висушені пивні дріжджі можуть зберігатися тривалий час, для позбавлення харчових дріжджів від гіркоти застосовується сучасна технологія. За цим способом з дріжджів видаляють гіркоту за допомогою 1%-го розчину кухонної солі, потім сепарують, промивають водою і сушать за температури 110°C. Сухі дріжджі, отримані за цим способом, містять 8% води. Вони мають приємний смак і містять білкові і мінеральні речовини, вітаміни групи В та інші цінні речовини; застосовуються для дитячого харчування і в якості лікувального препарату.

*Вуглекислота.* На кожен декалітр пива можна практично отримати 0,15 кг рідкої вуглекислоти. Вуглекислий газ збирають в газгольдерах, стискають триступінчатим компресором. Рідку вуглекислоту розливають в балони. Вона використовується як в пивоварному виробництві, так і в інших галузях харчової промисловості.

### **6.3.2 Технології переробки вторинних ресурсів пивоварного виробництва**

*Використання пивної дробини у тваринництві.* Корми – першооснова, головна передумова функціонування і розвитку всієї тваринницької галузі. Дефіцит кормів призводить до незбалансованості раціонів годівлі, втратам розрахункового виходу продукції та підвищенню собівартості приросту живої маси. Білок був і залишається найдорожчим інгредієнтом у кормах тварин: його вартість у системі раціонів перевищує 70% загальної вартості поживних речовин. Нестача поживних речовин, особливо білку, а також вітамінів, макро- та мікроелементів, спричиняє зниженню приростів, збільшенню строків відгодівлі, перевитраті кормів, що впливає на собівартість вітчизняної тваринницької продукції, яка вища, ніж в країнах ЄС.

Використання відходів пивоварної галузі на кормові цілі дозволить щорічно економити до 2 млн. т. фуражного зерна, що може забезпечити додаткове виробництво понад 160 тис. т. м'яса. Пивна дробина, яка є високовологим продуктом (85...90% вологи) швидко псується і не може бути раціонально використана у натуральному вигляді. Але при певній обробці є джерелом додаткового кормового білку та інших поживних речовин. Тому, існує проблема розробки ефективних методів переробки пивної дробини, які б дозволяли зберігати її кормові переваги, продовжити терміни зберігання та включати до складу комбікормів, що узгоджується із завданням сформульованим у національному проекті «Відроджене скотарство», що є галузевою програмою виробництва комбікормів на період 2011 – 2015 рр. Як там відмічено, передбачається необхідність зменшення в них зернових компонентів і підвищення частки продуктів переробки. Ситуацію ускладнює те що морально застарілі технологічні і технічні засоби виробництва тваринницької продукції зумовлюють високу енергоємність виробництва одиниці продукції та її собівартість. Отже, розробка науково-обґрунтованих технологій та техніки, що забезпечують економічно доцільне залучення на

кормові цілі тієї частки пивної дробини, яка ще не використовується – це актуальний напрямок роботи.

Пивна дробина в сирому вигляді здавна використовувалася для вигодовування домашнім тваринам як високобілковий корм. Як правило, пивну дробину використовують як корм для жвачних тварин, однак її можна згодовувати іншим тваринам, застосовуючи спеціальні методи обробки дробини. Серед таких кормових добавок фігурує комплексна кормова добавка «Пробіоцел» для поросят на відгодівлі, бройлерів, курей-несучок. Пивну дробину змішують з висівками і зброджують спеціально виділеними мікроорганізмами (*Bacillus subtilis*). Бактерії частково переробляють клітковину в легко засвоювані цукру. У суміш додають мікроелемент селен. Після ферментації отриману масу висушують, в такому вигляді вона може зберігатися не менше року. Якщо поросята їдять їжу з новою добавкою, то хворіють набагато рідше тварин з контрольної групи, а вагу набирають швидше (в середньому на 16%).

Волога пивна дробина використовується також для годування худоби м'ясних порід.

В даний час на основі пивної дробини розроблені корми та кормові добавки для різних видів і вікових груп тварин:

- сільськогосподарських тварин і птиці;
- кроликів;
- хутрових звірів;
- собак.

Кормові показники дробини представлені в табл. 6.7.

*Таблиця 6.7 – Кормові показники пивної дробини в 1 кг*

Показник	Волога	Суха
Кормові одиниці	0,21	0,75
Обмінна енергія (ВРХ), МДж	2,35	8,67
Обмінна енергія (свині), МДж	2,04	7,61
Обмінна енергія (вівці), МДж	2,35	8,67
Перетравний протеїн (ВРХ), г	42	169
Перетравний протеїн (свині), г	40	160
Перетравний протеїн (вівці), г	42	169

*Виробництво сухих кормопродуктів.* В даний час дефіцит білкових кормів становить понад 25%, а кормів тваринного походження – більше 40%. У світі особливо гостро стоять питання виробництва традиційних сухих тваринних кормів на основі кісткової і м'ясо-кісткового борошна у зв'язку з тим, що обсяги їх вироблення різко знизилися через небезпеку зараження тварин вірусними захворюваннями і «коров'ячим сказом». Тому науково-дослідними організаціями ведеться пошук додаткових джерел білка у вигляді нових кормових продуктів, застосування яких би дозволило підвищити біологічну цінність і продуктивність дії комбикормів, а також ефективність їх використання тваринами та птицею. Слід зазначити, що вітчизняна наука і

промисловість відстають у вирішенні проблеми розширення асортименту кормових добавок з використанням нетрадиційних джерел сировини. Відходи пивоварної промисловості, велика частина яких представляє собою водянисті, швидкопсуваючі продукти, використовуються нераціонально, що пояснюється відсутністю в місцях їх отримання сушильних установок, а також недосконалістю способів їх консервації і транспортування.

Головна причина, по якій неможливо широке використання сирої дробини, – це терміни її зберігання і труднощі при перевезенні. Так, за температури 15...30°C дробина обсеменяється і прокисає, внаслідок чого термін її зберігання становить 48...74 год. Втрати при зберіганні сирої пивної дробини пов'язані також з появою мікотоксинів, що викликають у тварин гепатотоксический ефект (ураження печінки). У зв'язку з цим гостро стоїть питання методів консервування та переробки дробини, що дозволяють зберігати кормові переваги такого нетрадиційного джерела сировини. Виділяються два напрямки: сушка та консервування.

З економічної точки зору, виробництво сухих кормопродуктов має високу рентабельність. Суха пивна дробина стійка при зберіганні та транспортабельна. В результаті виконання наукових досліджень розроблена технологія і устаткування для виробництва сухої дробини та екологічно чистих кормових добавок на її основі для сільськогосподарських тварин і птахів. Науково-дослідним і проектним інститутом екологічних проблем (м.Оренбург) розроблена технологія переробки пивної дробини в високобілкові екологічно чисті концентрати для годівлі всіх статевовікових груп тварин і птахів, в кормові лікувально-профілактичні білково-вітамінні кормові добавки (БВД). В основі проекту лежать два критерії: екологія та економіка.

Якщо оцінювати проект з економічної точки зору, то, завдяки новому підходу, витрати учасників проекту на переробку пивної дробини окупаються вже через 5...6 міс., складаючи 35...50% доходу від першого року роботи від реалізації отриманої продукції.

Дана технологія не пов'язана з якою-небудь конкретною програмою виробництва і може бути легко пристосована до наявних відходів і, відповідно, до випуску необхідної продукції при обліку кількості відходів.

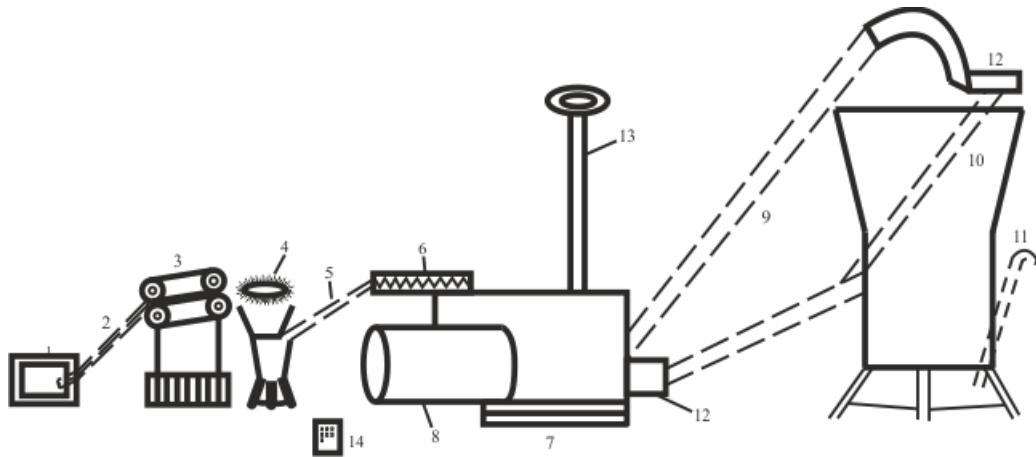
Крім того, гнучкість пропонованої програми дозволяє відносно легко змінити її відповідно до вимог ринку. Виробництво передбачає випуск комбікорми – 10290 т / рік, преміксу – 1000 т / рік.

Кінцеві продукти використовують у тваринництві як лікувально-профілактичної кормової добавки та основи кормового раціону з лікувально-профілактичною спрямованістю.

Ніжинський механічний завод випускає обладнання для виробництва кормового борошна з післяспиртової барди та пивної дробини. Для вирішення проблеми переробки дробини для її тривалого зберігання і зручності транспортування завод випускає комплект обладнання з продуктивністю по готовому продукту 180 кг на годину. Дана установка

дозволяє забезпечити сушку вологого концентрату післяспиртової зернової барди спиртзаводу продуктивністю 1000 дал / добу.

Розроблена технологія сушіння рідкої пивної дробини, яку впроваджено при Радомишльському пивзаводі Житомирської області і наведено у схемі (рис. 6.7).



- 1 – накопичувач сировини; 2 – стрічковий транспортер;  
3 – прес-обезводнювач до вологи 60 %; 4 – галогенові лампи (мікронізація);  
5 – нахильний транспортер; 6 – транспортер-дозатор; 7 – барабанна сушарка; 8 – твердопаливний котел; 9 – трубопровід; 10 – циклон;  
11 – розвантажувальний транспортер; 12 – вентилятори для відсмоктування; 13 – димар; 14 – пульт управління.

Рис. 6.7 – Технологія сушіння рідкої пивної дробини

Технологічний процес сушіння рідкої пивної дробини проводиться в такій послідовності. Рідка пивна дробина вологістю 75% завантажується в накопичувач (1), далі стрічковим транспортером (2) подається в стрічковий прес-обезводнювач (3) до вологості 60%. Після цього кормова маса вологістю 60% проходить процес інфрачервоного опромінювання (мікронізації) під галогеновими лампами мікронізатора (4), що дає можливість не тільки підвищувати поживність корму, але й покращувати його санітарно-ветеринарні якості при використанні в годівлі тварин. Потім опромінена під галогеновими лампами кормова маса вологістю 60% нахильним транспортером (5) подається в горизонтальний транспортер-дозатор (6), з якого кормова маса надходить у барабанну сушарку (7), що отоплюється твердопаливним котлом (8), в якому замість дорогих традиційних джерел енергії (газ, мазут, електроенергія) використовуються місцеві дешеві паливні ресурси з побічних відходів лісового і сільського господарства (брикети з лісової щепи, соломи, кістриці льону та ін.), що не тільки здешевлює виробництво, але й покращує екологічний стан довкілля. Суха пивна дробина з барабанної сушарки вологістю близько 10%

трубопроводом (9) подається в циклон (10), звідки розвантажувальним транспортером (11) подається на склад готової продукції.

Технологічна лінія сушіння рідкої пивної дробини забезпечена вентиляторами для відсмоктування пилу (12) димарем (13) та пультом управління (14).

Таким чином, переваги виробництва і використання пивної дробини в сухому стані у порівнянні з рідкою наступні:

- зниження затрат і можливість транспортування на великі відстані;
- збільшення терміну зберігання сухої пивної дробини;
- можливість включення сухої пивної дробини, як високобілкового корму, для виробництва повноцінних і збалансованих концкормів;
- сушіння і перевезення пивної дробини в сухому стані покращує екологічний стан прилеглих до пивзаводів територій.

*Консервування сирої пивної дробини.* Однак сушка пивної дробини не завжди виправдана економічно. Крім того, частина білкових речовин дробини при сушінні перетворюється на неперетравлювану форму, що викликає зниження поживної цінності сухої дробини в порівнянні зі свіжою. Для вирішення проблеми консервування сирої пивної дробини здавна використовується метод силосування. Сік більшості соковитих кормів має кислу реакцію, обумовлювану природною стійкістю до бактерій і грибів. Для успішного зберігання пивної дробини досить вирівняної площі і декількох тюків соломи. Якщо вологий корм треба використовувати протягом 7 днів, досить накрити його водонепроникною плівкою з натяжкою внизу для запобігання доступу повітря. Для більш тривалого зберігання влаштовують простий бункер із залізничних шпал з покриттям внутрішньої поверхні пластиковим матеріалом від старих мішків з-під добрив. Більш дешеве сховище будується з металевих листів з привареними петлями, встановлених між вертикально укріпленими шпалами з внутрішнім покриттям поліетиленовою плівкою. Соковитий корм можна зберігати в буртах і траншеях, обтягнутих поліетиленовою плівкою. Але найдешевший і простий спосіб зберігання соковитих кормів – між копицями сіна або соломи з подвійним укріттям поліетиленом. Через низьку кислотної стабільності силос з пивної дробини рекомендується згодовувати протягом короткого періоду часу.

Природно, відмічені методи консервування пивної дробини мало прийнятні у виробничих масштабах. Виробництво силосу з використанням пивної дробини, як і інших соковитих кормів, зазнало розвиток від використання в якості консервантів хімічних речовин (найчастіше – органічних кислот) до створення спеціальних силосних заквасок (мікробіологічних) і ферментних препаратів.

Волгоградським науково-дослідним і технологічним інститутом м'ясо-молочного скотарства та переробки продукції тваринництва розроблений консервант в кількості 2 кг на 1 т пивної дробини. Встановлено, що консервована пивна дробина не робить негативного впливу на ріст і розвиток

гусенят і веде до зниження їх собівартості. Економічні розрахунки дозволили зробити висновок, що консервована пивна дробина може заповнити дефіцит сирого протеїну в господарському раціоні і при цьому знизити витрати грошових коштів на 10%, а також кормів на одиницю приросту живої маси.

За даними болгарських та німецьких науковців, які давно займаються консервуванням як вологого фуражного зерна, так і пивної дробини, існує багато способів консервування вказаної сировини. Фахівці ТОВ “Цитрон-агро”, яке виготовляє біологічні закваски для консервування силосу, та науковці кафедри годівлі сільськогосподарських тварин і технології кормів ім. П.Д. Пшеничного НАУ провели дослідження з консервування зразків свіжої пивної дробини натуральної вологості (77%) амілолітичним молочнокислим стрептококом (АМС). Після шестимісячного зберігання законсервованих зразків пивної дробини фахівці проблемної лабораторії кафедри годівлі сільськогосподарських тварин і технології кормів ім. П. Д. Пшеничного дослідили її хімічний склад за натуральної вологості та абсолютно сухої речовини (табл. 6.8) і визначили енергетичну цінність (табл. 6.9).

*Таблиця 6.8 – Хімічний склад консервованої пивної дробини, г/кг*

Волога	Суха речовина	Сира зола	Сирий протеїн	Сира клітковина	Сирий жир	БЕР	Са	Р
754,3	245,3	12,1	66,2	49,5	28,5	89,4	0,1	1,64
0	100	49,4	269,6	201,4	116,0	363,8	0,4	6,69

*Таблиця 6.9 – Енергетична цінність консервованої пивної дробини*

Кормові одиниці		ВЕ, МДж		ОЕ, МДж		ЧЕЛ, МДж	
натуральна вологість	суха речовина	натуральна вологість	суха речовина	натуральна вологість	суха речовина	натуральна вологість	суха речовина
0,27	1,08	5,28	21,47	2,99	12,18	1,79	7,30

Як видно з наведених у таблицях 6.8 і 6.9 даних, у законсервованій пивній дробині після шестимісячного терміну збереглась достатня кількість поживних речовин порівняно зі свіжою, а ще вона має доволі високу енергетичну цінність, навіть дещо вищу проти кукурудзяного силосу.

Пивну дробину можна консервувати у чистому вигляді за вологості 60%. Під час силосування пивної дробини високої вологості для зменшення останньої до силосної маси можна додавати солому, зелену масу злакових або бобових, співвідношення яких до пивної дробини розраховують, користуючись квадратом Пірсона. Силосують пивну дробину в облицьованих заглиблених і напівзаглиблених траншеях, розміри яких передбачено типовими проектами, або у спеціальних сховищах-траншеях із цегли,

збірною залізобетону, бутового каменю чи у поліетиленових рукавах-ємностях, призначених для консервування силосу.

Пивну дробину закладають у силосну траншею, розрівнюють і ретельно ущільнюють важким трактором. Заповнювати силосні траншеї найкраще почергово похилими шарами, починаючи з торця траншеї. Пивну дробину закладають так, щоб довжина щоденно заповненої частини траншеї становила не менше 4...6 м, що відповідає 100...120 т корму. Масу ущільнюють постійно в процесі заповнення траншеї. У кінці робочого дня закладену за день і ретельно ущільнену пивну дробину вкривають полотнищем, звареним зі смуг поліетиленової плівки. Для зручності полотнище перед початком робіт скручують у рулон, а потім плівку з рулону розмотують у міру заповнення траншеї. Зверху на полотнище поперек траншеї кладуть другий шар плівки зі смуг з перекриттям 10...15 см, а потім – шар тирси, піску або старі автомобільні покришки. У такій послідовності процес ущільнення й закриття закладеної за день пивної дробини повторюють щоденно до цілковитого заповнення траншеї. Тривалість цих робіт не повинна перевищувати десяти діб.

Для консервування пивної дробини натуральної вологості або ж віджатої до 60% рекомендується застосовувати як біологічний консервант закваску, виготовлену на основі амілолітичного молочнокислого стрептокока (АМС). Для внесення закваски у пивну дробину з концентрату готують робочий розчин: ретельно розмішують і розводять водою у співвідношенні 1 л закваски на 10 л води. Готову робочу суміш вносять у пивну дробину рівномірно, розбризкуючи за всією масою. Норма внесення препарату – 1 л робочого розчину на 1 т пивної дробини. Бактеріальні закваски обов'язково треба зберігати в прохолодному місці, краще в холодильнику, за температури 4...10°C. Термін зберігання – не більше 30 днів.

Найважливішою умовою збереження поживних речовин законсервованої пивної дробини є суворе дотримання технології її закладання в сховище у відповідні строки.

*Гранульована пивна дробина* – це висušена і спресована у гранули пивна дробина (рис. 6.8), що має вологість до 10%, насипну щільність не менше 700 кг/м<sup>3</sup>. З цих причин вона може перебувати на тривалому зберіганні і транспортуватися на значні відстані.



*Рис. 6.8 –Зовнішній вигляд гранульованої пивної дробини*

При переробці пивної дробини спочатку вона піддається сушінню. Сухе борошно, отримана з дробини, добре зберігається і транспортується, тому доцільно її використання при виробництві різних продуктів харчування, як цінного технічного та біологічної сировини.

Суха пивна дробина має високий рівень вмісту протеїну (12...15%), що перевищує майже в 3 рази його кількість в ячмені, містить досить велику частку перетравного протеїну (близько 17%), а також найважливіші мікроелементи (фосфор, кальцій, магній, мідь, залізо), жирні кислоти та вітаміни Е і F. З цих причин пивна дробина є високоякісним білковим кормом для багатьох видів сільськогосподарських тварин і птиці, кролів, хутрових звірів і собак. Практичними експериментами встановлено, що додавання гранульованої пивної дробини істотно збільшують прирости тварин на відгодівлі і знижують собівартість приростів. При цьому вживання рекомендованих доз не приводить до яких-небудь негативних побічних ефектів.

З економічної точки зору, виробництво гранульованої пивної дробини має високу рентабельність. Завдяки застосуванню новітніх енергоефективних технологій переробки вологих рослинних матеріалів, витрати інвесторів на проект з переробки пивної дробини можуть окупитися через 5...6 місяців.

*Технологія виробництва гранульованих кормів з вологої подрібненої сировини* (рис. 6.9). За цією технологією можна виробляти гранульовані корми з підв'яленої трави або бадилля, очерету, кеков (віджимань) спиртової барди, бурякового жому та пивної дробини.

Характеристики сировини: вологість – до 65%, розмір часток – до 50×25×10 мм. Сировина підвозиться автотранспортом (або навантажувачем) і зсипається в спеціальний живильник-завантажувач з рухомою ланцюговою підлогою (1). Ланцюг рухомої статі з регульованою швидкістю подачі направляє сировину до шнековому транспортеру, потім ланцюговим або стрічковим транспортером (2) сировина подається в завантажувальну секцію агрегату сушки-подрібнення (4). Сюди ж подаються продукти горіння з



теплогенератора (5) і засмоктується холодний атмосферне повітря через аварійно-розпалювальну трубу (6). Спочатку змішуються продукти горіння і холодне повітря, пропорція змішування регулюється автоматично, що забезпечує підтримку заданої температури теплоносія. Потім теплоносієм змішується з вологим сировиною і засмоктується в агрегат сушки-подрібнення (4). У ньому сировину подрібнюється і потім висушується, піднімаючись в потоці теплоносія до динамічного класифікатора, що знаходиться в головній секції агрегату сушки-подрібнення. Динамічний класифікатор, частота якого задається з пульта керування (20), пропускає дрібне і суху сировину, а великі і вологі частинки сировини повертає до ротора агрегату, цей процес повторюється до отримання необхідної вологості і ступеня подрібнення сировини. Подрібнене і висушене сировину (з цього моменту його прийнято називати борошном) засмоктується в осадовий циклон (8) за рахунок розрідження, створюваного димососом (не видний). В циклоні борошно осідає за рахунок відцентрової сили і рухається вниз, а відпрацьований теплоносієм викидається в димову трубу (19). З циклону борошно через шлюзовий затвор подається в шнековий або ланцюговий транспортер (9), далі надходить в бункер гранулятора (10). У середині бункера знаходиться пристрій, що перешкоджає злежуванню борошна. З бункера борошно подається шнековим живильником з регульованою швидкістю подачі в змішувач (кондиціонер) преса, сюди ж подається вода (або пара). У змішувачі відбувається кондиціонування продукту, тобто доведення вологості борошна до рівня, необхідного для процесу гранулювання. З змішувача зволене борошно через відділювач феромагнітних домішок виводиться в прес-гранулятор (11). У камері пресування борошно затягується між обертовою матрицею і пресуючими вулицями і продавлюється в радіальні отвори матриці, де під дією великого тиску відбувається формування гранул. Видавлені з отворів гранули натрапляють на нерухомий ніж і обламуються. Обламани гранули падають вниз і через рукав кожуха виводяться з преса. Гранули, що виходять із преса, мають високу температуру і неміцні, тому вони транспортуються норією (12) в охолоджувальну колонку (13). Тут через шар гранул вентилятором циклону (16) всмоктується повітря, яке охолоджує гранули і одночасно відсмоктує частина негранульованого борошна в циклон.

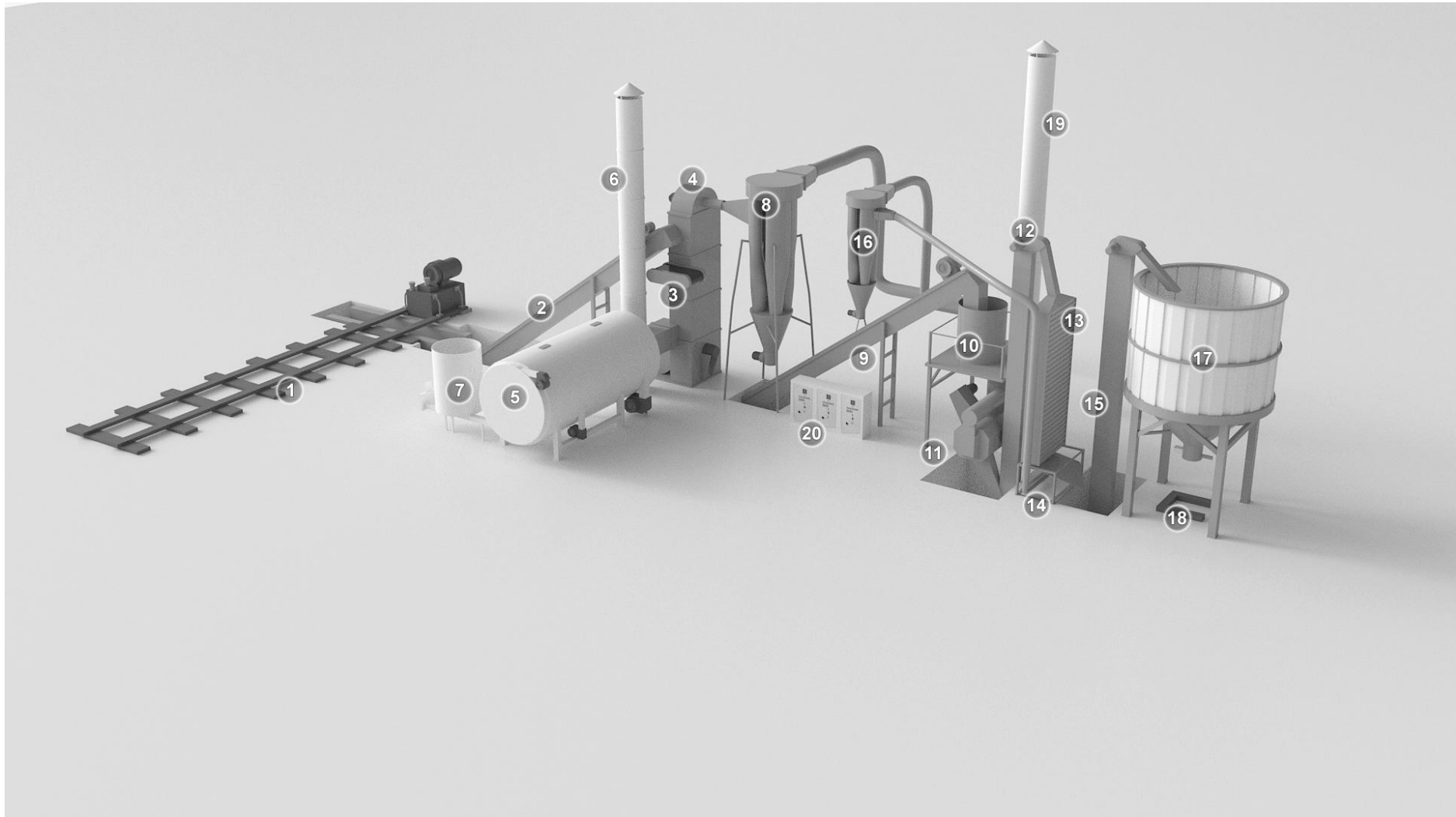


Рис. 6.9 – Технологічна схема виробництва гранульованих кормів з вологої подрібненої сировини

В процесі охолодження вологість гранул зменшується за рахунок випаровування вологи, і в гранулах відбуваються фізико-хімічні зміни. В результаті вони набувають необхідну твердість, вологість і температуру. З охолоджувальної колонки, у міру її наповнення, гранули поступають на сортування (14), де відбувається відділення кондиційних гранул від крихти. Гранули виводяться через вивантажувальну горловину і подаються на норію готової продукції (15), а крихта відсмоктується в циклон (16) і далі направляється разом з борошном на повторне пресування. Норією готової продукції гранули подаються в бункер готової продукції (17). Під цим бункером розташовані електронні ваги (18), а на стійках бункера є гачки для вивішування мішка. Заповнені мішки навантажувачем або гідравлічної візком транспортуються на склад готової продукції.

Теплогенератор в даній схемі може завантажуватися паливом як в ручному (через дверцята), так і в автоматичному режимі – з бункера палива (7). Поповнення бункера палива може відбуватися автоматично додатковим транспортером з окремого складу палива.

*Пивна дробина в повсякденному харчуванні.* Виділяються три області застосування пивної дробини в харчуванні людини:

- хлібобулочні, макаронні та кондитерські вироби;
- м'ясні системи;
- молочні системи.

Борошно, отримана з сухої дробини, стійка при зберіганні та транспортабельна, тому доцільно використання і переробка її як цінного технічного та біологічної сировини в харчових цілях при виробництві різних продуктів харчування, в тому числі ковбасних виробів, м'ясних напівфабрикатів, а в поєднанні з іншими біологічно активними речовинами – для виготовлення дієтичного хліба, висівок, мюслі, кондитерської випічки.

Харчова та біологічна цінність борошна з пивної дробини дає можливість використовувати її при випіканні кондитерських виробів з пісочного, листкового, заварного тіста, в суміші з іншими рецептурними компонентами в кількості 15...30%. Отримані вироби мають золотисто-кавовий колір, тонкошарову структуру, рівномірну пропечене, смак і запах, властивий даними видами виробів, і відповідають всім якісним вимогам.

*Пивна дробина – джерело ксиліту.* З пивної дробини петербурзьким винахідником Сергієм Блинковим розроблена і запатентована технологія виробництва ксиліту. Для виробництва 15 т ксиліту на добу необхідно 500...600 т дробини 75%-ї вологості. Ксиліт – енергетичний цукрозамінник, за солодкістю він еквівалентний цукрози і вдвічі солодший сорбіту. Ксиліт споживається діабетиками, у харчовій промисловості використовується для стабілізації харчових жирів, збільшення терміну зберігання молочних концентратів. Ксиліт потрібен для виробництва кондитерських виробів, жувальної гумки, зубної пасти. Його використовують для виробництва лаків, оліфи, миючих засобів, поліуретанів тощо.

Найбільш великі заводи з виробництва ксиліту з деревини берези розташовані в Німеччині та Японії. Світовим лідером у виробництві ксиліту на сьогодні є фінська корпорація «Култор» зі своїм підрозділом «Ксірофін». У колишньому СРСР існувало чотири заводи з виробництва ксиліту, в даний час їх діяльність припинена. ЗАТ «Росксілітон» має намір побудувати в Петербурзі перший у Росії завод з виробництва ксиліту з пивної дробини. На світовому ринку одна тонна ксиліту коштує близько 10 тис. доларів.

Унікальність нової технології в тому, що вона повністю безвідходна, і всі до єдиного побічні продукти потрібні ринку та їх продаж забезпечує чистий прибуток. З тонни дробини крім ксиліту виходить 150 кг білкової пасти або 50 кг білкового концентрату, які використовуються в хлібопекарській промисловості в якості цінних поживних добавок, оскільки не містять жирів і холестерину. Решта 750 кг – універсальний корм для сільськогосподарських тварин. Секрет розробників технології в особливостях гідролізу. Злегка її змінивши, на тому ж обладнанні можна отримувати як з дробини, так і з рослинних відходів, етиловий спирт, а попутно – активоване вугілля, вуглекислоту у вигляді сухого льоду, ентеросорбенти медичного та ветеринарного призначення, паливні брикети, волокнисті плити, кисень, водень, фуранові смоли – зв'язуючий компонент для різних видів ракетного палива.

*Пивна дробина – джерело глюкози, глутамату натрію.* Крім ксиліту, пивна дробина слугувати джерелом отримання глюкози, глутамату натрію. Простота технологічної схеми отримання глутамату натрію дозволяє здійснити процес на звичайній стандартному обладнанні та організувати його безпосередньо на пивному заводі. Основні техніко-економічні показники запропонованого процесу є позитивними. Реалізація на практиці запропонованого процесу вирішує такі найважливіші завдання:

- створюється конкурентноспроможне вітчизняне виробництво глутамату натрію, глутамінової кислоти та її солей (кальцієвих, магнієвих);
- раціонально використовується відхід пивоварного виробництва;
- забезпечується максимум прибутку при мінімумі витрат.

*Пивна дробина – органічне добриво і меліорант ґрунтів.* Утилізації багатотонних відходів пивної дробини за допомогою її перетворення в органічне добриво і меліорант ґрунтів – ще одна важлива сфера у вирішенні проблеми. У цьому аспекті викликає інтерес технологія виробництва вискоєфективного добрива шляхом аеробного твердофазної ферментації пивної дробини, розроблена Всеросійським НДІ сільськогосподарського використання меліорованих земель.

В Інституті водних та екологічних проблем (м. Хабаровськ) розроблений спосіб утилізації пивної дробини за допомогою мікробної закваски-біоактиватори і компостних черв'яків *Eisenia fetida*. В результаті отримано вермикомпост з високим ступенем гуміфікації і великим вмістом бацилярних і актиномицетного спільноти. Застосування біоактиватори і компостних черв'яків для переробки промислових відходів пивної дробини з

метою отримання компостів відкриває широку перспективу для одночасного вирішення двох проблем: охорони довкілля та створення екологічно чистих харчових продуктів.

Свіжа пивна дробина володіє фітотоксичністю і токсичністю для дощових черв'яків. Однак, переведена в компост, вона є прекрасним субстратом для дощових черв'яків, а біогумус на її основі служить відмінним добривом для рослин. Важливо відзначити, що компостування пивної дробини відбувається не тільки штучним, але і природним шляхом, тобто без застосування спеціальних мікробних заквасок. Протягом декількох місяців зберігання пивна дробина перетворюється на повноцінний корм для дощових черв'яків.

Маючи тваринницькі ферми і овочесховища, верміхозія можуть складувати пивну дробину на потрібний час з метою перетворення в компост. Це важливий момент, оскільки зберігання пивної дробини повинно проводитися на спеціально обладнаних майданчиках з дотриманням всіх еколого-гігієнічних правил і норм та оформлюється за спеціальним дозволом.

Пивна дробина знаходить своє застосування і як органічне добриво у виноградарстві.

Штучне (інтенсивне) культивування гриба гливи звичайної (*Pleurotus ostreatus*) останнім часом набуло широкого поширення. А.С.Мушінським і І.А.Биковою розроблено субстрат для вирощування їстівного гриба гливи звичайної, що містить свіжу пивну дробину (з терміном зберігання не більше 2-х діб). Внесення пивної дробини в кількості 15...20% до маси субстрату, що містить солому і лузгу, сприяє збільшенню врожайності грибів до 70% і підвищенню в них вмісту білка в 1,2 рази і жиру в 2,4 рази.

## **6.4 Олійно-жирова галузь**

### **6.4.1 Характеристика вторинних ресурсів олійно-жирової промисловості**

Олійно-жирова промисловість – це складна галузь харчової індустрії, що складається з взаємопов'язаних виробництв олії, жирів, харчового масла, маргарину та реалізації продукції. Дана галузь у якості вихідної сировини використовує насіння олійних культур – соняшнику, льону, бавовнику, сої, гірчиці, арахісу, рапсу, коноплі тощо.

Нині все гострішою стає проблема раціонального ресурсокористування в переробних галузях аграрного сектора. Процеси переробки сільськогосподарської сировини переводяться на безвідходний цикл виробництва, заснованого на комплексному використанні природно-сировинних ресурсів і технологічних відходів.

Нині відходи переробки технічних і олійних культур становлять близько 95% загального обсягу сільськогосподарської сировини, що переробляється в харчовій промисловості.

До продуктів переробки сільськогосподарської сировини належать насамперед різноманітні макухи та шроти, одержувані після переробки насіння олійних культур. У макухах кількість сирого жиру становить 5...6, у шротах 2...3%. Макухи та шроти розрізняються за способом виготовлення. При виробленні масла за допомогою віджиму насіння під пресом отримують макуха, а при видаленні масла екстрагуванням – шрот. Відмітна особливість цих продуктів – великий вміст протеїну при високій калорійності (у них залишається певна кількість відповідних масел). В даний час ці корми служать одним з основних джерел збагачення раціонів птиці протеїном і відносяться до групи білкових кормів рослинного походження. Макухи та шроти містять також значну кількість фосфору і калію.

*Соняшникові макухи і шроти.* Соняшниковий макуха – дуже цінний корм, в його складі 32...40% сирого протеїну, багатий набір амінокислот, зокрема високий вміст метіоніну. Метіонін сприятливо впливає на ріст і розвиток молодняку, служить джерелом сірки для організму, необхідний для окислювально-відновних процесів, що відбуваються в організмі. Ця амінокислота бере участь в утворенні серину, креатину, цистину, холіну, що грають велику роль в обміні речовин. Вона регулює жировий обмін в печінці, сприяє видаленню з неї надлишків жиру. Метіонін необхідний для утворення пера у птахів.

У порівнянні з макухою в шроті є дещо більше сирого протеїну, але менше жиру – не більше 3%. Вміст лушпиння складає не більше 16% (випускаються шроти і без лушпиння), Колір цих кормів сірий (різних відтінків) або коричневий.

Якість протеїну цього шроту в порівнянні з соєвим трохи нижче, особливо за вмістом лізину; амінокислотний профіль сильно змінюється при нагріванні під час обробки. Тривале нагрівання значно знижує доступність аспарагінової кислоти, аргініну, треоніну, лейцину і триптофану, збільшуючи вміст глютамінової кислоти, серину і аміну. Тому при обробці соняшникового шроту слід враховувати можливість зниження доступності багатьох амінокислот.

Соняшниковий шрот містить більше сирої клітковини, ніж соєвий, – 11,6 проти 5,9%, проте її кількість залежить від ступеня видалення лузги (табл. 6.10). Отримання масла з насіння соняшнику екстрагуванням практикується найчастіше. Хоча при ретельному очищенню насіння від лушпиння рівень сирої клітковини в готовому продукті не перевищує 12% і енергетична цінність зростає, зміст ПЕ і ОЕ в соняшниковий шрот в раціонах для свиней і великої рогатої худоби все ж значно нижче, ніж в соєвому.

У порівнянні з іншими рослинними кормами соняшниковий шрот відносно бідний Са і Р. Він містить дещо більше Са, ніж органічного фосфору (фітину), що сприяє більшій доступності Са для тварин. Хоча соняшниковий шрот кілька біднішими мікроелементами, ніж соєвий, він містить більше Na і S. У соняшниковий шрот так само значно більше вітамінів групи В і каротину.

Таблиця 6.10 – Характеристика соняшникового шроту

Масова частка вологи і летких речовин, %	7...10
Масова частка золи, нерозчинної в соляній кислоті, в перерахунку на абсолютно суху речовину,%, не більше	1,0
Масова частка металоDOMішок,%, не більше:	
частинки розміром до 2 мм включно	0,01
частинки розміром більше 2 мм і з гострими ріжучими краями	Не допускаються
Вміст мікотоксинів, млн-1 (мг / кг), не більше:	
зеараленону	1,0
Т-2 токсину	0,1
дезаксініваленола	1,0
Вміст токсичних елементів, млн-1 (мг / кг), не більше:	
ртуті	0,02
кадмію	0,1
свинцю	0,5
Масова частка залишкової кількості розчинника (бензину),%, не більше	0,1
Сторонні домішки (камінчики, скло, земля)	Не допускаються
Зараженість шкідниками або наявність слідів зараження	Не допускається
Вміст нітратів, млн-1 (мг / кг), не більше	450
Вміст нітритів, млн-1 (мг / кг), не більше	10

*Лушпиння соняшника.* Соняшникове лушпиння – побічний продукт при переробці соняшника на олію. Кількість соняшникового лушпиння при промисловій переробці насіння соняшника становить значну частину – 17...20% до маси насіння. На сьогоднішній день існують багато варіантів використання соняшникового лушпиння, одним з яких є переробка його на гранульоване паливо, яке відрізняється зручністю зберігання і транспортування, а також екологічністю. Справа в тому, що при спалюванні лушпиння соняшника вуглекислого газу виділяється не більше, ніж при природному розкладанні деревини, і утворюється мізерно малу кількість шкідливих викидів. Зола, що залишилася після спалювання, цілком підходить для добрива рослин. З'явилися навіть спеціальні котли вітчизняного виробництва, які в якості палива використовують лузгу соняшника.

Лушпиння різних гібридів і сортів соняшника складає в середньому: жиру 3%, білка 3,4%, безазотистих екстрактивних речовин 29,7%, клітковина 61,1%, зола 2,83%.

Так як соняшникове лушпиння має дуже низьку насипну щільність (170 кг/м<sup>3</sup>) та його транспортування на велику відстань є економічно недоцільним, тому надзвичайно актуальним і економічно вигідним, на сьогоднішній день, є виробництво гранул, щільність яких складає 1200 кг/м<sup>3</sup>. В середньому діаметр гранул складає 6...12 мм (табл. 6.11 – 6.13).

**Таблиця 6.11 – Технічні характеристики гранул із лушпиння соняшнику**

Показник	Значення
Щільність, т/м <sup>3</sup>	1,1 – 1,2
Теплотворність, ккал/кг	5000 – 5200
Зольність, %	2,7 – 4,5
Сірка, %	0,23 – 0,45
Щільність сировини, т/м <sup>3</sup>	0,12
Вологість сировини, %	до 8
Розмір часток сировини, мм	2 – 8

**Таблиця 6.12 – Органолептичні показники лушпиння соняшника**

Показник	Значення
Зовнішній вигляд	Гранули циліндричної форми
Агрегатний стан	Тверда органічна речовина
Колір	Сірий різних відтінків
Запах	Без запаху

**Таблиця 6.13 – Фізико-хімічні показники лушпиння**

Показник	Значення
Розмір гранул:	
— діаметр, мм	Від 4 до 15
— довжина, мм	> 5 > 50
Масова частка води та летких речовин, %, не більше ніж	12,0
Зольність, %, не більше ніж	4,0
Теплота згорання, МДж/кг, не менше ніж	15,0
Об'ємна (насіпна) щільність, кг/м <sup>3</sup> , не менше ніж	500,0
Масова частка сирої клітковини в перерахунку на абсолютно суху речовину, %	Від 35,0 до 60,0
Масова частка загальної сірки, %, не більше ніж	0,23
Кількість пилу й осипу (механічна міцність), %, не більше ніж	5,0
Токсичність	Не дозволено
Примітка 1. У разі визначання розміру гранул змінення діаметра чи довжини не є бракувальним чинником.	
Примітка 2. Під час зберігання допустиме збільшення масової частки води та летких речовин до 15%. Примітка 3. Під час зберігання допустиме зниження об'ємної (насіпної) щільності до 400 кг/м <sup>3</sup> .	

**Соеві макуха і шрот.**

Вміст протеїну в насінні сої варіює від 39,5 до 41% (від сухої речовини). Соевий шрот в основному використовується в раціонах як джерело білка, амінокислоти його прекрасно збалансовані. Залежно від виду, віку тварин і складу раціону першими лімітуючими амінокислотами соєвого шроту можуть бути лізин, треонін або метіонін; вміст триптофану і валіну може перевищувати потреба в них.



У порівнянні з іншими олійними культурами амінокислоти соєвого шроту для моногастричних тварин мають високу доступність (85...92%), виняток становить метіонін (70%). Однак теплова обробка, необхідна для інактивації інгібіторів трипсину, призводить до зменшення доступності лізину і цистину. Швидкість відщеплення окремих амінокислот від молекули білка після такої обробки також сповільнюється, що особливо важливо враховувати в годівлі моногастричних тварин. При тепловій обробці частково руйнуються такі амінокислоти, як аргінін, триптофан, гістидин та серії. Тому при інактивації небажаних з'єднань важливо регулювати теплову обробку з метою збереження поживної цінності кормів.

За рахунок низького вмісту клітковини рівень перетравності (ПЕ) і обмінної енергії (ОЕ) соєвого шроту в раціонах для свиней і великої рогатої худоби значно вище, ніж при використанні інших шротів.

У соєвому шроті міститься приблизно в 2 рази більше фосфору, ніж в інших зернових. Від 50 до 70% фосфору знаходиться у формі фітінкової кислоти, і тому цей елемент дефіцитний для тварин. Під час обробки соєвого шроту утворюється комплекс фітінкової кислоти з білками і мінеральними речовинами, в результаті чого знижується доступність кальцію, цинку, міді, марганцю, молібдену і, можливо, заліза. Ознак зниження доступності магнію в присутності фітінкової кислоти, однак, не виявлено. Здатність білкових ізолятів сирій сої викликати рахіт можна пояснити низькою доступністю Са, хоча є думка, що це захворювання обумовлене дефіцитом вітаміну В. Хоча соєву муку не вважають багатим джерелом вітамінів, при широкому використанні внесок її в задоволення потреби свиней у вітамінах досить значний. Рівень вітаміну D в соєвому шроті надзвичайно низький, і його недолік в сирій сої викликає появу рахіту. Захворювання можна попередити або усунути добавкою вітаміну D<sub>3</sub>, автоклавуванням або введенням в раціон Са і Р. Соєві боби, однак, є прекрасним джерелом холіну для зростаючих тварин. Вважають, що вітамінів групи В, особливо ніацину, рибофлавіну і пантотенової кислоти, в продуктах з сої більше, ніж у зерні злаків; соєві боби також є хорошим джерелом тіаміну. Однак під час теплової обробки втрати тіаміну складають 10...75%, хоча при впливі паром рівень тіаміну зберігається.

**Таблиця 6.14 – Сенсорні та фізико-хімічні властивості соєвого шроту**

Показник	Нормоване значення
1	2
Колір	Від світло-жовтого до світло-коричневого
Запах	Властивий соєвому шроту без сторонніх запахів
Масова частка вологи і летких речовин, %	8,5...10,0
Масова частка золи, нерозчинної в соляній кислоті, в перерахунку на абсолютно суху	1,5

1	2
речовину, 96, не більше	
Активність уреаз (зміна рН за 30 хв)	0,1...0,2
Зміст мікотоксинів, млн-1 (мг / кг), не більше:	
афлатоксина В 1	0,025
Т-2 токсину	0,1
зеараленону	1,0
Вміст токсичних елементів, млн-1 (мг / кг) не більше:	
свинцю	0,5
кадмію	0,1
ртуті	0,02
Вміст нітратів, млн-1 (мг / кг), не більше	450
Вміст нітритів, млн-1 (мг / кг), не більше	10
Сторонні домішки (камінчики, скло, земля)	Не допускаються
Масова частка залишкової кількості розчинника (бензину), %, не більше	0,1
Масова частка металодомішок, %, не більше:	0,01
частинки розміром до 2 мм включно	
частинки розміром більше 2 мм і з гострими ріжучими краями	Не допускаються
Зараженість шкідниками або наявність слідів зараження	Не допускається

Соєва макуха – один з продуктів основного раціону сільськогосподарських тварин і птиці. Його отримують після віджимання олії з насіння сої в процесі екструдуювання.

Соєва макуха використовується для приготування повноцінних комбікормів і кормосумішей. Це високоякісний білковий інгредієнт, що дозволяє домагатися високих результатів відкормки. Соєвий білок добре засвоюється організмом і з біологічної цінності наближається до білків тваринного походження.

Високий вміст енергії і протеїну в макусі дозволяє складати високопротеїнові і висоенергетическіє раціони без застосування дорогих жирів.

Соєва макуха має такі характеристики.

Таблиця 6.15 – Сенсорні та фізико-хімічні властивості соєвої муки

Показник	Нормоване значення
Запах	властивий соєвій макухи, без стороннього запаху
Колір	натуральний, від жовтого до світло-бурого
Масова частка сирого протеїну (у перерахунку на АСВ),%	45...45
Масова частка жиру (у перерахунку на АСВ),%	7...8
Сушу речовину, г	900
Масова частка вологи і летких речовин, %	7...10
Масова частка золи нерозчинної в 10% ПСП (у перерахунку на АСВ),%	4,5
Масова частка сирі клітковини (у перерахунку на АСВ), %	6...7
Перетравний протеїн (ВРХ), г	400
Перетравний протеїн (вівці), г	356,4
Обмінна енергія (ВРХ), МДж	12,9
Обмінна енергія (свині), МДж	15,5
Обмінна енергія (вівці), МДж	11,72
кормові одиниці	1,35
Крохмаль, г	20
Цукор, г	100
Метіонін + цистин, г	15,8
Біологічні екстрактивні речовини (МЕВ), г	297
сторонні домішки	відсутні
активність уреаз	0,1...0,3
Масова частка металодомішок, %	немає

#### *Ріпаковий шрот.*

Склад насіння ріпаку змінюється залежно від сорту, умов вирощування та методів обробки. Виведення в останні роки сортів ріпаку з низьким вмістом ерукової кислоти глюкозинолатів (так звані сорти канола) стало великим досягненням, завдяки якому стало можливим підвищити рівень ріпаку в раціонах.

Вміст протеїну в рапсовій шроті варіює межах 36...39%, а середня переваримість у свиней 78...80%. Протеїн ріпакової шроту перетравлюється у свиней в середньому на 78...80%. Вміст протеїну як у звичайних, так і в сортах канола відчутно не відрізняється, але нижче, ніж в соєвому шроті. Загалом, соєвий шрот в порівнянні з рапсовим містить більше лізину, але бідніше за сумою метіоніну і цистину. Доступність амінокислот шроту канола як в клубовому, так і в товстому відділах кишечника свиней нижче, ніж соєвого. Доступність лізину і треоніну шроту канола приблизно на 10% нижче соєвого.

Вміст сирі клітковини в рапсовій шроті вважається високим вже при 12,4%, але цей рівень може досягати 16%. Кількість сирі клітковини зменшує обробка насіння ріпаку по французько-шведському методу, що

дозволяє отримувати шрот з найвищим вмістом протеїну. Однак при видаленні оболонки насіння втрачається до 30% обмінної енергії. Виявилося, що шрот із сортів з жовтою оболонкою насіння містить на 1...2% менше сирової клітковини.

І переваримая і обмінна енергія ріпакової шроту менше, ніж соєвого.

Загалом, канолове шрот багатшими мінеральними речовинами, ніж соєвий. Незважаючи на те, що 70% Р в канолове шроті присутній в неорганічній формі, було показано, що фітинової кислота і клітковина зменшують доступність Р, Са, Mg, Cu і Mn. Додаток Zn в раціон, що містить солі фітинової кислоти ріпакової шроту, робить Zn недоступним для тварини. Доступність міді та марганцю також дещо знижується через високого рівня сирової клітковини в рапсовій шроті. Однак, незважаючи на більш низьку доступність мінеральних речовин ріпакової шроту в порівнянні з соєвим, канолове шрот є кращим джерелом доступного кальцію, заліза, марганцю, фосфору, магнію і селену, ніж соєвий, тоді як соєвий багатшими міддю, цинком і калієм, ніж шрот канола.

Шрот канола не можна назвати хорошим джерелом вітамінів в раціонах худоби. Він містить значну кількість холіну, ніацину, рибофлавіну, фолієвої кислоти і тіаміну, але менше пантотенової кислоти, ніж соєвий.

*Сафлоровий шрот.*

У США виробляють два типи сафлорового шроту: один з високим, а інший з низьким вмістом клітковини. Останній найбільш широко використовується в годівлі тварин як джерело протеїну. Такий шрот містить 16...24% протеїну і 30...37% клітковини. Сафлоровий шрот близький за якістю до пальмової в тому відношенні, що містить багато сирової клітковини і неохоче поїдається моногастрічних тваринами. У протеїні сафлорового шроту міститься менше амінокислот, ніж в соєвому.

Сафлоровий шрот має менше мінеральних речовин, ніж соєвий, але є хорошим джерелом кальцію, фосфору і заліза. За вмістом вітамінів сафлоровий шрот трохи перевершує соєвий, хоча містить дуже мало вітаміну В6 і бідний вітаміном Е.

#### **6.4.2 Технології переробки вторинних ресурсів олійно-жирової промисловості**

*Технології виробництва біодизельного палива з рослинних олій.*

Біодизельне паливо, за даними Міністерства сільського господарства США, дає вигреш 220% від різниці потреб при виробництві біодизеля енергії копалин палив і енергії, отриманої від його використання. майже всі існуючі дизельні двигуни можуть ефективно працювати як на чистому біодизельному паливі, так і на його сумішах з традиційних дизельним паливом. Виробництво біодизеля в світі і особливо в Європі стрімко зростає. Лідером у даній галузі є Німеччина з обсягами виробництва 2662000 т даного виду палива в 2006 році. А це набагато перевищує річну потребу АПК України в дизельному паливі.

Згідно з Програмою розвитку виробництва дизельного біопалива, яку Кабінет Міністрів затвердив постановою №1774 від 22 грудня 2006 року, в Україні до 2010 року буде вироблятися близько 623 тис. тонн біодизельного палива на рік, що зменшить імпорт нафти на 1,9 млн. тонн.

Але зараз в Україні виробництво біодизельного палива тільки зароджується. Працюють кілька невеликих ліній з виготовлення біодизелю малої продуктивності, хоча в ЗМІ регулярно зустрічається інформація про будівництво біодизельних заводів. деякі сільськогосподарські підприємства розвивають кустарне для власних потреб виробництво дизельного біопалива.

На ринку України представлено різноманітне обладнання для отримання біодизелю як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Це новий вид технічних засобів механізації сільського господарства. Досить часто покупцям пропонується обладнання недостатнього технічного рівня, на якому отримують біодизельне паливо низької якості. А це призводить до передчасного виходу з ладу дизельних двигунів і викликає негативне ставлення суспільства до нового виду палива.

Також одним з найважливіших умов отримання біодизельного палива є суворе дотримання технології і регламенту виробництва.

Повний технологічний процес переробки олійного насіння в біодизель можна розбити на три етапи:

1) прийом олійної сировини, зберігання та операції з підготовки насіння до вилучення масла;

2) витяг масла, його очищення, нейтралізація, виморожування, інші підготовчі до етерифікації операції, зберігання та подача до участку виробництва метилових ефірів жирних кислот;

3) виробництво біодизельного палива з олії на лінії етерифікації, додавання присадок, його зберігання, змішування і відправка.

Перший і другий етап є традиційними для ліній виробництва рослинної олії – як харчового, так і технічного цільового призначення.

Підігрівання олійного насіння вище температури 60°C негативно впливає на якість сировини для виробництва біодизеля. При «холодному» методі віджиму температура масла не перевищує 50...60°C. Даний метод, на відміну від екстракції, – повністю нейтральний для навколишнього середовища, а макуха після холодного пресування є цінним кормом для всіх видів тварин (за відповідних пропорцій в кормових сумішах). Видобуток масла шнековими пресами «холодним» методом можливо і доцільно впроваджувати як на малих фермерських, так і на великих сільськогосподарських підприємствах.

З хімічної точки зору рослинне масло складається з суміші тригліцеридів вищих жирних кислот (94...96%), супутніх жиророзчинних речовин, вільних жирних кислот, води і нерозчинних у жирах домішок. З цих речовин лише тригліцериди жирних кислот і вільні жирні кислоти в процесі виробництва біодизеля можна перетворити на метилові ефіри жирних кислот. Інші погіршують якість кінцевого продукту, а в гіршому випадку ще й

негативно впливають на процес отримання та вихід біодизельного палива. Тому рослинне масло слід піддати операції очищення триглицеридов, при наявності восків необхідно виморожування.

Вимоги до якості ріпакової олії, яке слід використовувати в процесі виробництва метилових ефірів жирних кислот для дизельних двигунів, наведені в табл. 6.16.

*Таблиця 6.16 – Вимоги до якості ріпакової олії і метилового ефіру*

Показник	Рапсова олія	Метиловий ефір
Густина, 15 ° С, кг / м <sup>3</sup>	900 – 930	860 – 900
Цетанове число		>51
Вміст сірки, мг / г	<20	<10
Температура спалаху, ° С	220	101
Коксованість 10% залишку, %	<0,4	<0,3
Енергетична цінність, МДж/кг	35	35
Вміст попелу (S <sub>04</sub> ), %	<0,01	<0,02
Вміст води, мг/кг	750	500
Механічні домішки, мг/кг	25	24
В'язкість, 40 ° С, мм <sup>2</sup> /с	<38	3,5 – 5,0
Кислотне число, мг КОН/г	<2	<0,5
Йодне число, г/100 г	100 – 120	<120
Вміст ефірів, %		>96,6
Вміст метилового ефіру ліноленової кислот, %		<12
Вміст метанолу, %		<0,2
Вміст моноглицеридов, %		<0,8
Вміст вільного гліцерину, %		<0,25
Вміст фосфору, мг/кг	<15	<10
Гранична температура фільтрування, °С		– 10

На третьому етапі виробництва біодизеля, залежно від принципу організації процесу виробництва, виділяють дві технології отримання біопалива:

- періодичну, при якій процес отримання біодизеля проходить в різний час послідовно в кілька окремих стадій, має широку гаму відносно простого і дешевого обладнання для різних масштабів виробництва;
- безперервну, коли всі окремі стадії виробництва біодизеля відбуваються одночасно і паралельно (в потоці). Перевага даної технології в менших розмірах устаткування, але вона складніша. Контролювати якість біодизелю важче, ніж при періодичному процесі.

Метилові ефіри жирних кислот для дізельних двигунів отримують з триглицеридів олій реакцією Алкоголиз (її ще називають трансестерифікацією), а з вільних жирних кислот – етерифікацією. Якщо кислотне число рослинного масла менше 2, технологічний процес виробництва біодизельного палива спрощується, необхідна тільки реакція трансестерифікації. В іншому випадку, щоб не ускладнювати виробничий

процес додаткової операцією, масло нейтралізують. Тому алкоголіз є ключовою операцією виробництва біодизельного палива.

Алкоголіз – це хімічна реакція взаємодії тригліцеридів з низькомолекулярними спиртами з утворенням ефірів відповідних кислот і гліцерину. Цей процес широко використовується для промислового та лабораторного отримання складних ефірів жирних кислот. Якщо в цьому процесі використовується метанол, то реакція називається метанолізацією. наявність каталізатора і нагрівання реактора прискорюють процес і підвищують повноту перетворення тригліцеридів у метилові ефіри жирних кислот. На рис. 6.10 наведено класифікацію технологій виробництва біодизеля залежно від способу каталізу реакції трансестерифікації рослинних масел.

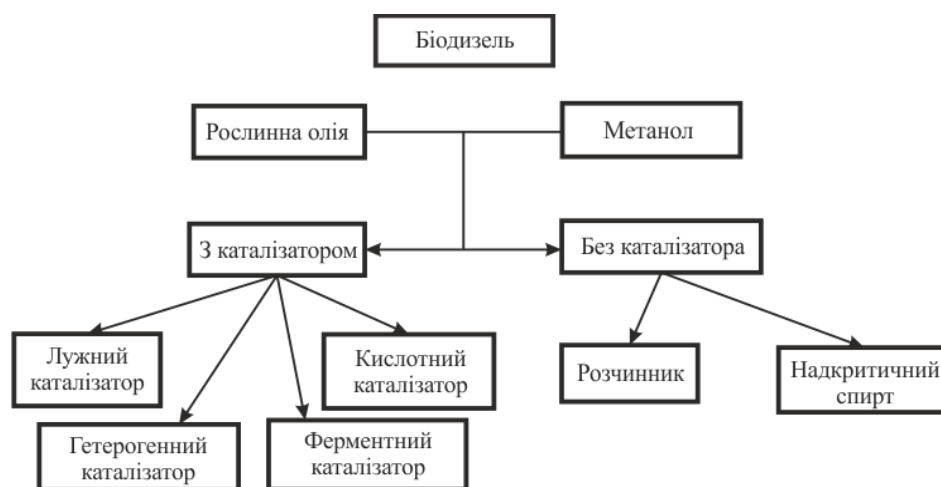


Рис. 6.10 – Класифікація технологій виробництва біодизеля з рослинних масел

Серед названих технологій на сьогоднішній день в промисловості використовуються лише три технології виробництва біодизельного палива: з використанням лужного, кислотного і гетерогенного каталізатора. Перший і другий варіанти можна використовувати на біодизельних лініях будь-якої продуктивності. Третій варіант більш складний, розроблений на основі технологічних процесів нафтохімії, а тому його доцільно впроваджувати на заводах промислового типу.

Періодичний процес метанолізація з лужним каталізатором (рис. 6.11) в реакторах з перемішувачем і нагрівачем – найпростіший і найпоширеніший варіант виробництва біодизеля. Він дає високий вихід метилових ефірів жирних кислот (до 95%), а якщо проводити трансестерифікацію в два етапи, то можна досягти виходу 98% при відносно невеликих витратах часу. Після проведення очищення якість біодизеля, отриманого за даною технологією, відповідає вимогам європейського стандарту EN14214:2003 та ДСТУ 6081:2009.

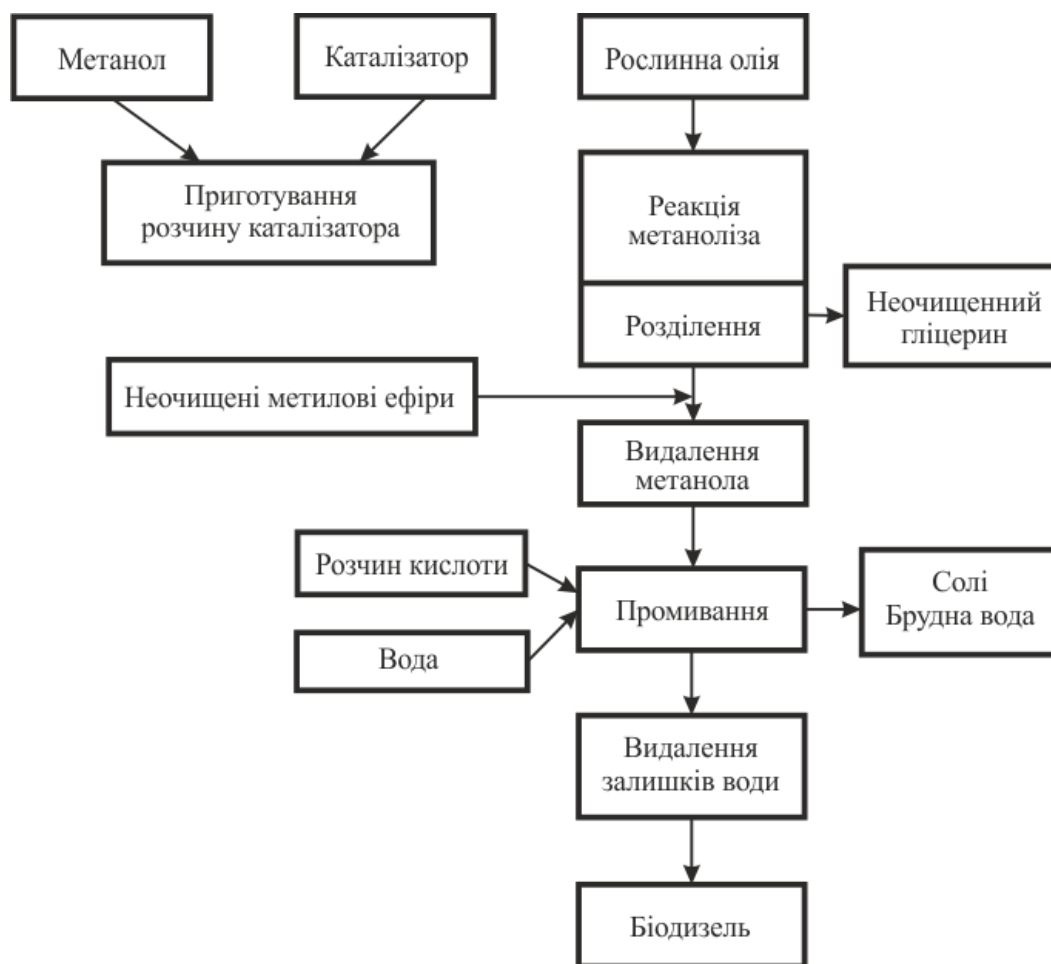


Рис. 6.11 – Структурна схема технологічного процесу виробництва біодизеля

Після реакції трансестерифікації проводять операцію поділу гліцеринової і ефірної фаз. Найпростіший спосіб – гравітаційне розділення, яке засноване на осадженні неочищеного гліцерину під дією сили тяжіння. Однак воно вимагає великих витрат часу – від 2 до 12 годин. Альтернативним даному способу є поділ гліцеринової і ефірної фаз під дією відцентрової сили в центрифугі. При цьому витрати часу істотно зменшуються, але збільшуються енерговитрати. Даний метод в основному використовується при безперервній технології виробництва біодизеля.

З метою отримання високого виходу метилових ефірів жирних кислот і прискорення виробничого процесу в реакції трансестерифікації використовують надлишок метанолу. Залишок метанолу розподіляється між фазами ефірів і гліцерина. Тому операція видалення метанолу є обов'язковою. Один з можливих варіантів її реалізації – використання випарних апаратів.

Після трансестерифікації в ефірній фазі залишаються такі небажані компоненти біодизельного палива, як мила, гліцериди, вільний гліцерин та інші неповні продукти реакції. Для їх видалення використовують операцію промивки фази метилові ефірів жирних кислот розчином кислоти.



Кислота нейтралізує залишки лужного каталізатора. Для видалення залишків солей і миля проводять додаткову операцію промивки водою.

Після кожної операції промивки необхідно провести поділ ефірів і води. Однак внаслідок розчинності води в метилових ефірах жирних кислот її кількість в ефірній фазі не відповідає вимогам стандартів на біодизель. Виникає необхідність у проведенні операції видалення води. Для цього можна використовувати вакуумну сушку. Також іноді застосовують методи з силікагелем, але при цьому виникає необхідність в регенерації робочої речовини.

Небажані компоненти біодизеля можна видаляти іншими способами, зокрема, з використанням сорбентів (наприклад, магнезол), але обов'язково потрібно врахувати, які показники метилових ефірів не відповідають вимогам чинних стандартів, і характеристику сорбенту. Операція видалення води при цьому все одно необхідна.

Нафтове дизельне паливо використовується з широким спектром присадок, які покращують його антиокислювальні, антикорозійні, миючі та інші властивості. Присадок до біодизелю поки значно менше, але вони істотно розширюють потреби застосування даного виду біопалива.

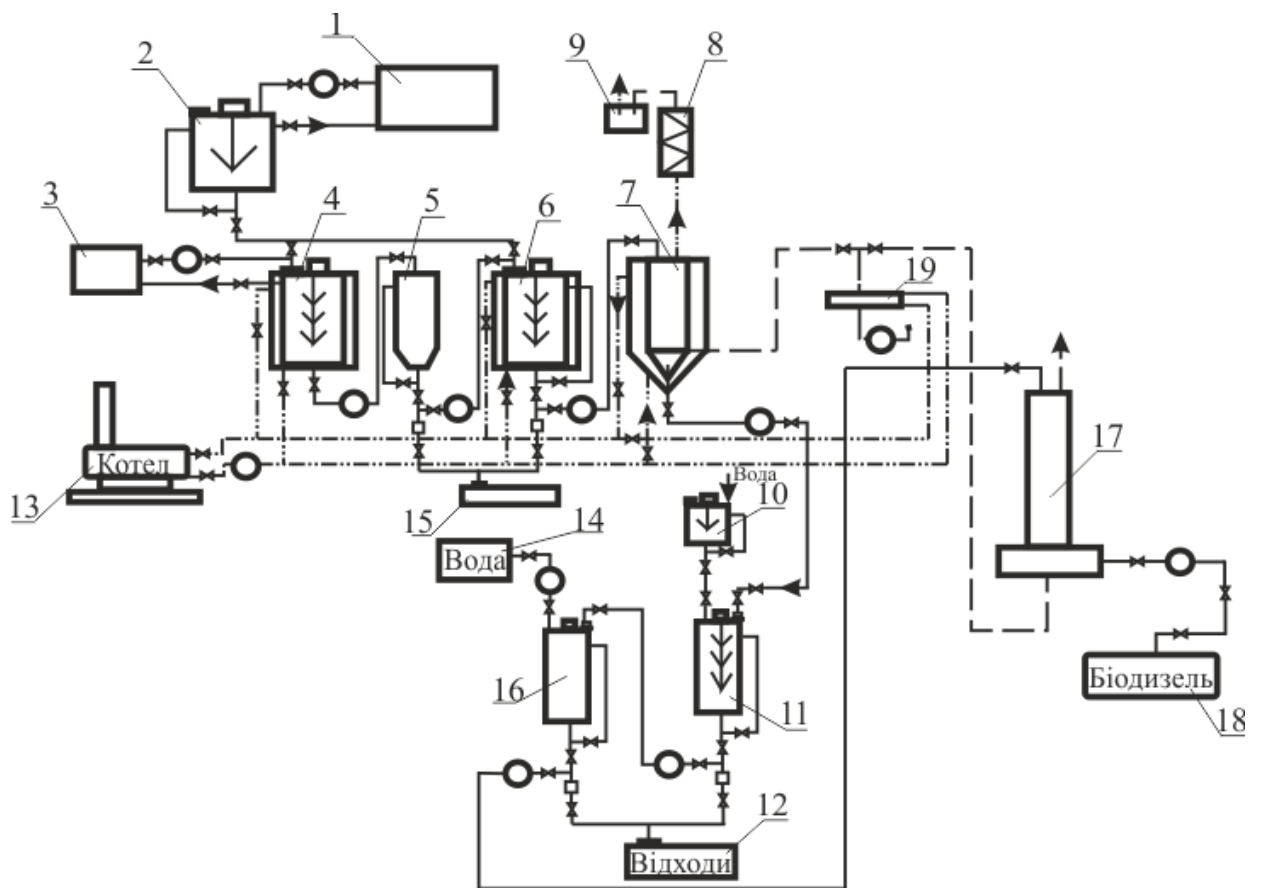
На рис. 6.12 наведена схема виробництва метилових ефірів жирних кислот з періодичної технології із застосуванням лужного каталізатора.

У даній лінії виробництва біодизеля реактори є типовим обладнанням. Для різних технологічних операцій вони відрізняються лише робітниками органами і наявністю або відсутністю системи нагріву. Дане обладнання випускають отечественні державні, недержавні машинобудівні заводи.

При виборі обладнання, як для періодичної, так і для безперервної технологій, перш за все, необхідно звернути увагу на технологічні аспекти виробництва. Метилі ефіри жирних кислот повинні відповідати вимогам стандарту ДСТУ 6081:2009. Також слід добре продумати питання утилізації відходів виробництва і безпеки роботи з метанолом.

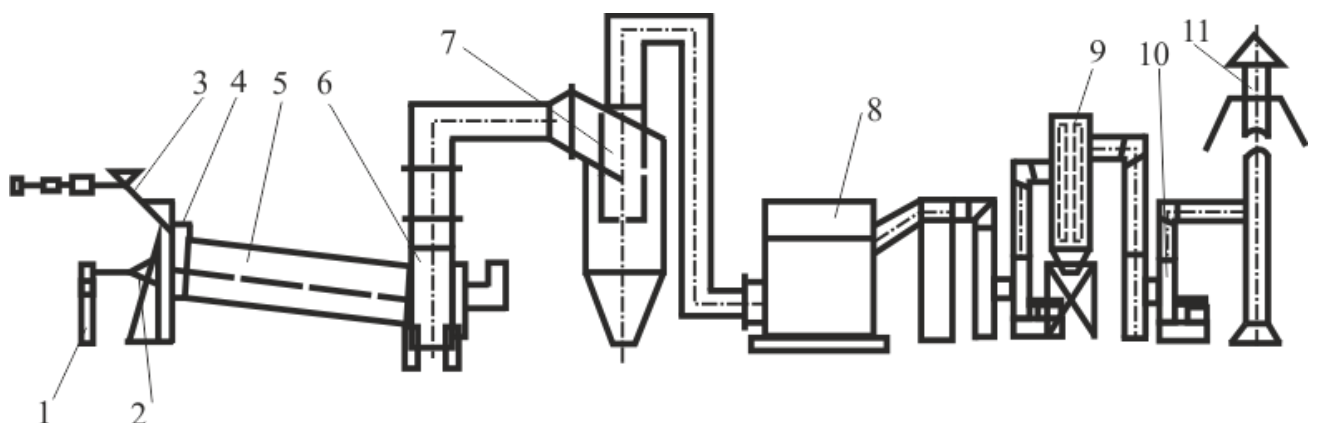
Таким чином, досягнутий рівень розвитку науки і техніки дає можливість переробляти всі без винятку побічні продукти і відходи виробництва переробних галузей агропромислового комплексу. Нині не існує технічних обмежень для повного і раціонального їх використання. Потрібний швидший перехід галузі на безвідходний тип виробництва, що підвищить економічні показники галузі, вирішить проблему раціонального природокористування при переробці сільськогосподарської сировини, сприятиме охороні навколишнього середовища.

Приклад технологічної схеми утилізації відходів оліє переробки в котельнях підприємства наведено на рис. 6.13



*Н1-Н10 – насос; К1 – компресор; Б1-Б6 – емність; РК1-РК2 – реактор-змішувач; Р1-Р2 – реактор; Р0 – реактор-відстійник; РС – реактор відбору метанолу; С1 - сушка; РП1-РП2 – реактор промивки; КВ1 – котел водо-Грейн; Т1 – теплообмінник; ХЛ – холодильник; ВУЛ – уловлювач*

*Рис. 6.12 – Технологічна схема лінії виробництва метилових ефірів жирних кислот*



*Рис. 6.13 – Технологічна лінія термічного знешкодження відходів олієжирової галузі*

## 6.5 Зернопереробна та спиртова галузі

### 6.5.1 Відходи зернопереробної галузі

У зернопереробній промисловості вторинні сировинні ресурси і відходи утворюються в процесі очищення зерна від домішок (кормової зернопродукт, зернові відходи, що діляться на категорії залежно від вмісту в них доброякісного зерна), переробки його в кінцевий продукт – борошно, крупу (висівки, лузга, мучка, зародок).

Вторинні сировинні ресурси зернопереробної галузі:

- за агрегатним станом є твердими;
- за матеріаломісткістю – відносяться до багатотонажних ресурсів, (виняток становлять обсяги утворення кормової січки та зародків, які знаходяться на рівні умовного критерію 100 тис. т на рік);
- за ступенем використання – повністю використовуються (неповністю утилізується лузга плівчастих круп'яних культур);
- за ступенем впливу на навколишнє середовище – нешкідливі.

На рис. 6.14 представлена принципова схема утворення та використання основної продукції та вторинних сировинних ресурсів (ВСР) зернового виробництва.

Норми утворення вторинних сировинних ресурсів в зернопереробній промисловості залежать від анатомічного і морфологічного складу зернівки з урахуванням технічних можливостей вивільнення основного продукту (борошнистих частинок ендосперму, круп'яного ядра) і неминучих втрат з побічними продуктами та відходами, що представляють собою вторинні сировинні ресурси.

У табл. 6.17 – 6.18 представлені нормативи утворення ВСР в зернопереробній промисловості на прикладі різних видів помелу пшениці та жита на борошно хлібопекарське і макаронне, а також при виробленні крупи.

ВСР борошномельного виробництва – кормовий зернопродукт, висівки пшеничні, мучка кормова пшенична, пшеничний зародок, висівки житні – традиційно використовуються в кормовому виробництві. На кормові цілі також використовується до 60% лузги, 15% лузги йде на виробництво біопалива. 15% відходів борошномельного виробництва використовується на харчові цілі: в хлібопеченні, при створенні дієтичних продуктів функціонального призначення. Їх використовують у вигляді готових сумішей з пшеничного сортового борошном, отримуючи новий вид борошна і нові сорти хліба.

Зернові відходи також знаходять застосування для виробництва крохмалю, клейковини, лізину, молочної кислоти. Вторинні сировинні ресурси круп'яної промисловості – це продукти високої харчової цінності за вмістом білків, клітковини.

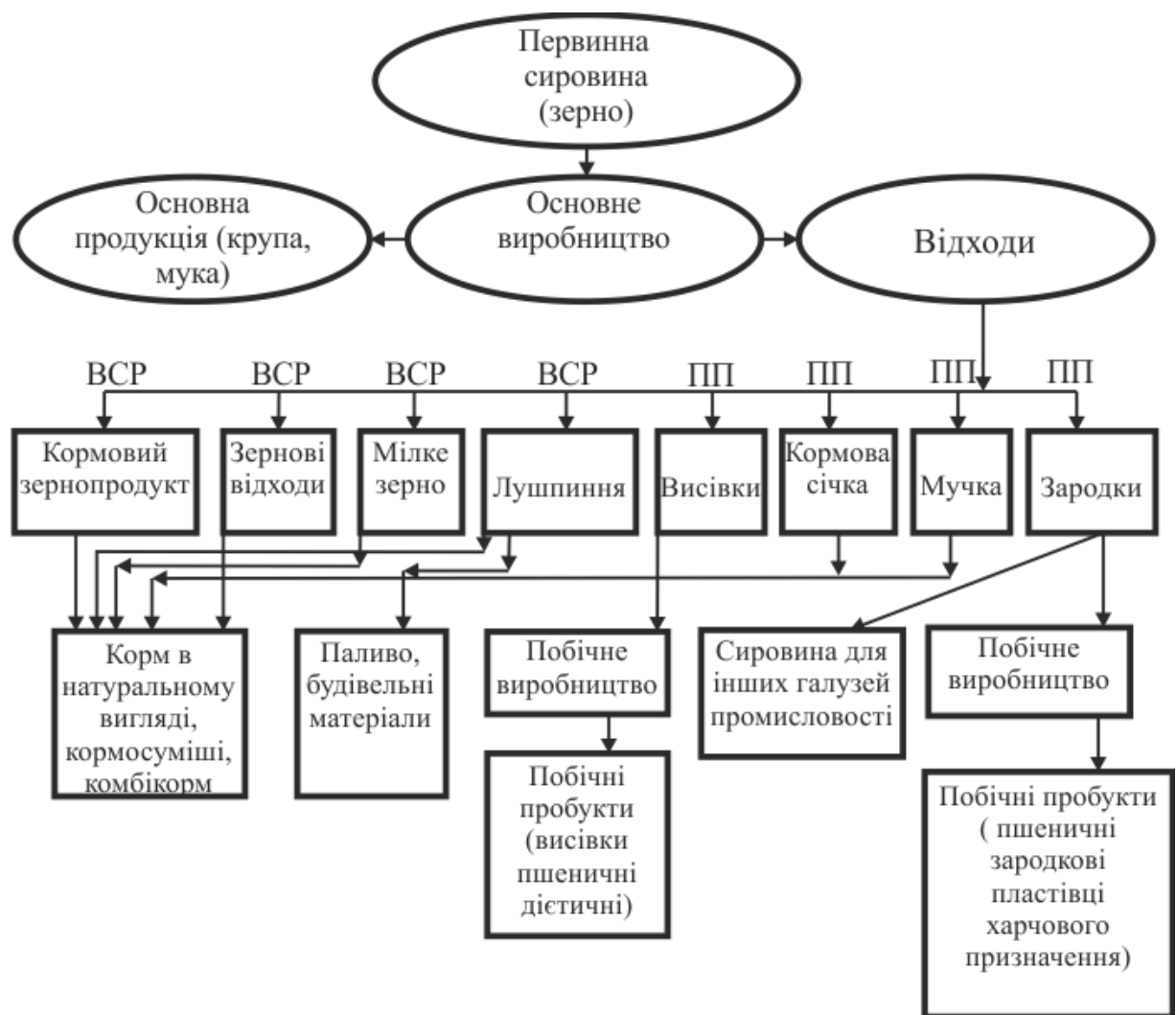


Рис. 6.14 – Потoki утворення і перероблення вторинних сировинних ресурсів і відходів зернопереробної промисловості (ППІ – побічна продукція, ВСП – вторинні сировинні ресурси )

Білковий комплекс ВСП та відходів круп'яного виробництва з точки зору незамінних амінокислот більш повноцінний, ніж білок цілого зерна. Містить вітаміни Е, РР, групи В, поліненасичені жирні кислоти. Мінеральний склад багатий залізом, марганцем, калієм, фосфором. Завдяки високій поживності основний напрямок використання відходів круп'яного виробництва – кормове (до 60...70%). У харчовій промисловості ВСП круп'яної промисловості використовують для збагачення хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів. Збагачення пшеничного борошна першого сорту додаванням 6% ячмінної мучки збільшує вміст вітамінів групи В у хлібі на 7...10%. Розроблено рецептуру цукрового печива з використанням ячмінної мучки в якості компонента.

**Таблиця 6.17 – Нормативи утворення ВСР під час вироблення пшеничного і житнього борошна, %**

Найменування помелу	Основна продукція (мука)	ВСР і відходи			
		мучка кормова	висівки	кормові зернопродукти	відходи з механічним и втратами
Трьох-, двох - і односортний хлібопекарський з м'якої пшениці з розвиненою схемою	73 – 75	3 – 5	19,1	2,2	0,7
Двосторонній хлібопекарський з м'якої пшениці	78	–	19,1	2,2	0,7
Односторонній хлібопекарський з м'якої пшениці	72 – 85	6	12,1 – 19,1	2,2	0,7
Оббійний хлібопекарський з м'якої пшениці	96	–	1,0	2,0	0,7
Трьох- і двосторонній макаронні помели з твердої пшениці і склоподібної м'якої	75	3	19,1	2,2	0,7
Двосторонній хлібопекарський помел жита	80	–	16,6	2,4	0,7
Односторонній хлібопекарський помел жита	63 – 87	–	16,6 – 33,6	2,4	0,7
Оббійний житній	95	–	2,0	2,0	0,7

Досліджено можливість використання ВСР круп'яного виробництва в мікробіологічній промисловості при виробництві  $\beta$ -каротину. Перспективними способами комплексної переробки мучки є екстракція рисового масла і стабілізація мучки від прогоркання з одночасним отриманням лікувальних препаратів, таких як фітин, застосовуваний проти рахіту, і інозит – при захворюваннях печінки, атеросклерозі.

Перспективні напрямки використання круп'яної лузги в мікробіологічній та фармацевтичній промисловості, гідролізім виробництві, при виготовленні будівельних виробів і паливних брикетів.

Таблиця 6.18 – Нормативи утворення ВСП під час вироблення крупи, %

Культура	Основна продукція		ВСП і відходи							
	крупа ціла	крупа дроблена	дроблена кормова	мучка, січка	лушпиння	мілке зерно	відходи		зародки	усушка
							I, II кат.	III кат.		
Рис	55,0	10,0	–	12,2	18,4	–	3,0	0,7	–	0,7
Гречка	62,0	5,0	–	3,5	20,8	–	6,5	0,7	–	1,5
Просо	65,0	–	4,0	7,5	15,5	–	7,0	0,5	–	0,5
Овес	45,5	–	–	15,5	27,0	5,0	2,8	0,7	–	3,5
Ячмінь	65,0	–	–	18,0	7,0	5,0	3,0	0,7	–	1,3
Пшениця	63,0	–	–	30,0	–	–	5,3	0,7	–	1,0
Горох	47,0	30,0	–	6,5	6,0	5,0	1,0	0,5	–	4,0
Кукурудза	40,0	15,0	–	34,0	–	–	3,0	0,5	7,0	0,5

Рисова і гречана лузга, складова 10...12% від усіх відходів круп'яного виробництва, є маловикористовуваною сировиною (для виробництва твердого палива, будівельних матеріалів).

### 6.5.2 Відходи спиртової галузі

У процесі отримання етилового спирту для харчової промисловості утворюються такі відходи: барда (зернокартопляна, мелясна), вуглекислий газ, відпрацьовані дріжджі – сахароміцети. До побічних продуктів виробництва відносяться фракція головного етилового спирту і сивушне масло.

Під час комплексної переробки сировини на основі післяспиртової барди отримують кормові дріжджі трьох видів: сухі кормові (з грубого фільтрату барди, рідкі кормові та сухі кормові з використанням всієї «цільної» барди. При виробництві кормових дріжджів з грубого фільтрату зернокартопляної барди утворюється відхід – післядріжджова барда (вторинна). Аналогічно при виробництві кормових дріжджів із мелясної барди утворюється післядріжджова мелясна барда.

Всі відходи і побічні продукти галузі відносяться до вторинних сировинних ресурсів.

За агрегатним станом більшість ВСП і побічних продуктів спиртового виробництва – рідкі; до твердих відносяться дріжджі-сахароміцети; до газоподібним – вуглекислота бродіння.

За ступенем впливу на навколишнє середовище нешкідливими вважаються барда післяспиртова і післядріжджова зернокартопляна, вуглекислота бродіння, дріжджі-сахароміцети; до шкідливих відносяться барда післяспиртова і післядріжджова мелясна, фракція головна етилового спирту, сивушні масла.

За ступенем використання ВСР діляться на повністю використовувані і використовувані частково. До перших відносяться барда післяспиртова зернокартопляна, дріжджі-сахароміцети, фракція головного етилового спирту, сивушні масла. Частково використовуються барда післяспиртова мелясна, післядріжджова (зернокартопляна і мелясна), вуглекислота бродіння.

На рис. 6.15 і 6.16 представлені схеми виробництва спирту з зернокартопляної сировини та з меляси з виходом всіх відходів виробничого циклу.

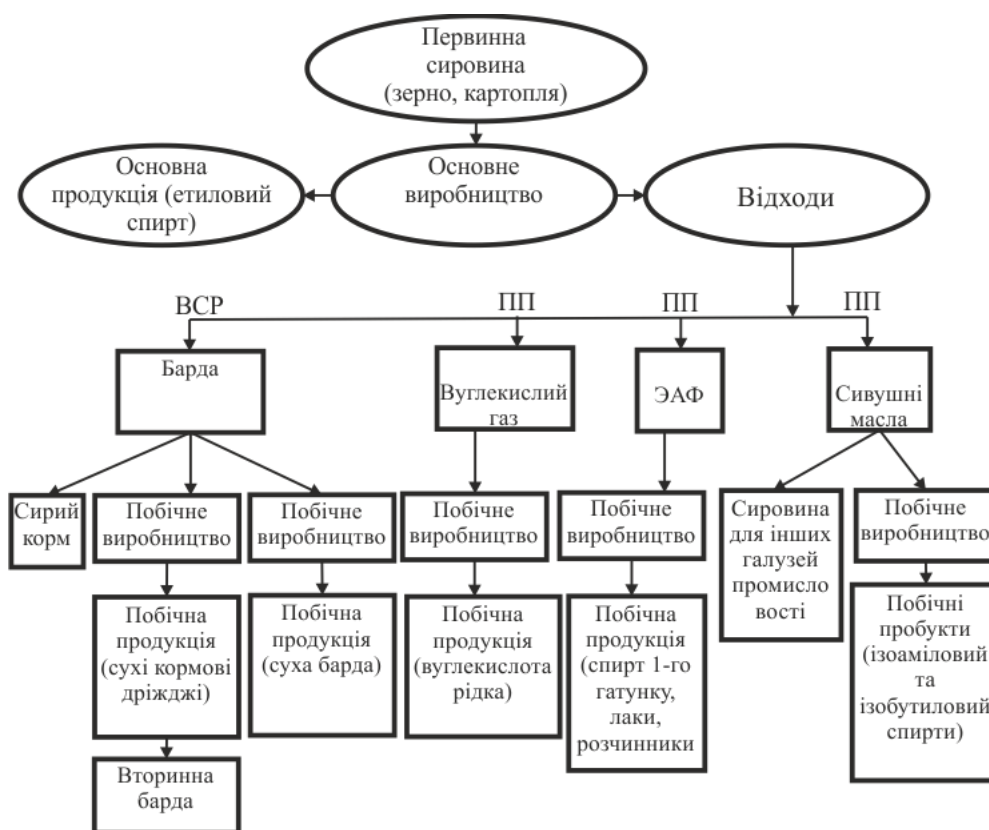


Рис. 6.15 – Потоки утворення і перероблення вторинних сировинних ресурсів під час виробництва спирту із зернокартопляної барди

Вихід спиртової барди залежить від міцності бражки, ступеня її розбавлення при замиванні бродильних чанів, міцності відігнутого спирту та кількості конденсату грючої пари, що витрачається на перегонку. Середній вихід зернової барди становить 141,5...143 т на 1000 дал спирту, картопляної барди – 158...159 т на 1000 дал спирту.

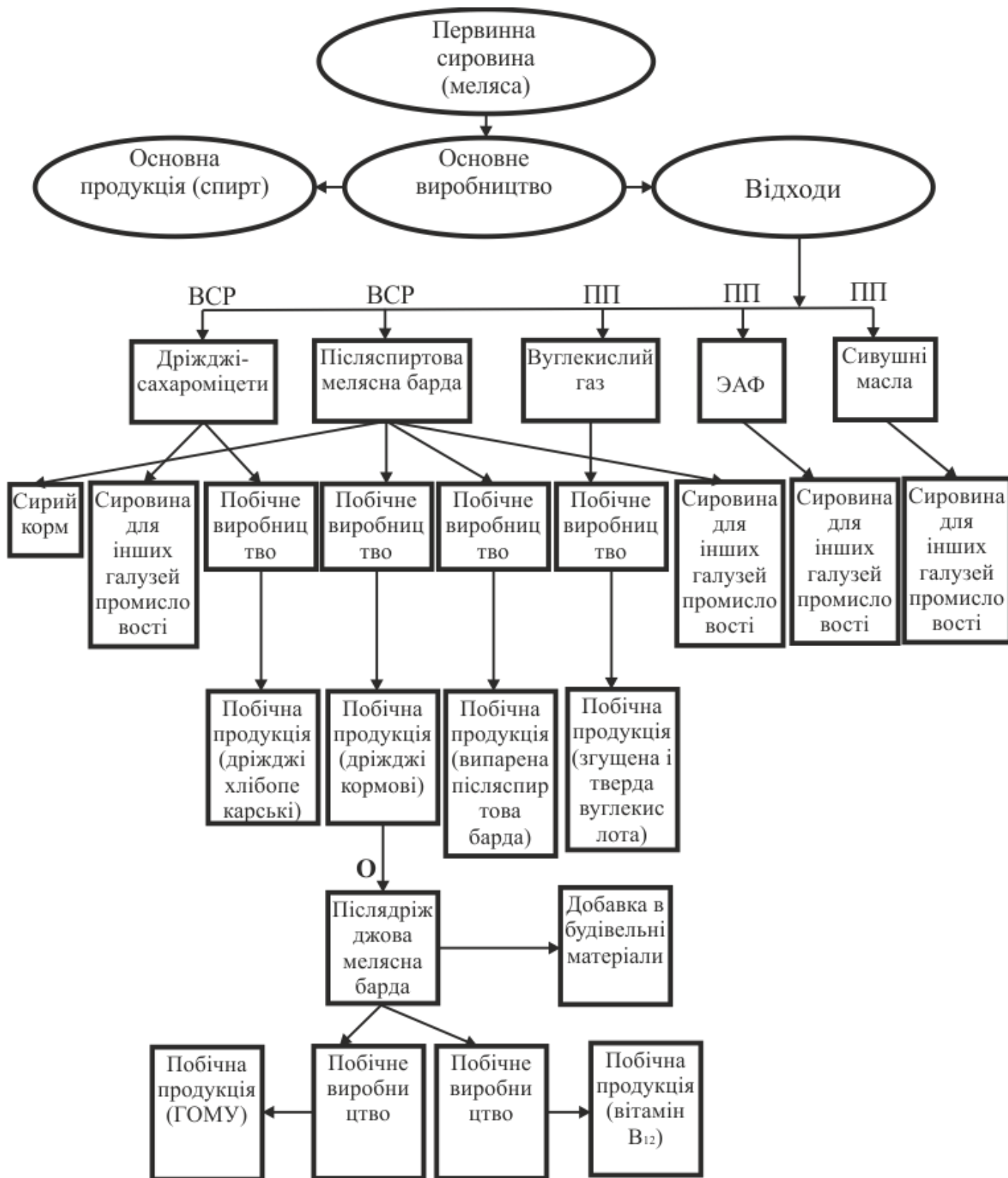


Рис. 6.16 – Поток утворення і перероблення вторинних сировинних ресурсів під час виробництва спирту із м'яса

При отриманні сухих кормових дріжджів (СКД) з грубого фільтрату барди утворюється вторинна барда в кількості 70...80% від натуральної. Вихід СКД на 1000 дал спирту при переробці зернової барди становить 3500 кг, при переробці картопляної барди – 1700 кг. Вихід рідких кормових



дріжджів (РК) становить 140...150 т на 1000 дал спирту. Теоретичний вихід вуглекислого газу становить 95,5% від маси спирту, або 7530 кг на 1000 дал виробленого спирту. Вихід головної фракції етилового спирту становить 2...6% від умовного спирту-сирцю. Вихід сивушного масла залежить від виду і якості сировини, раси застосовуваних дріжджів, умов зброджування і чистоти спирту і становить 0,3...0,4% від умовного спирту-сирцю, або 20...27 кг сивушного масла на 1000 дал умовного спирту.

Основний напрямок використання відходів спиртового виробництва – кормове. Хімічний склад спиртової барди дозволяє розглядати її як джерело цінних поживних речовин в сучасному кормовому виробництві і як джерело біопалива.

Мелясну барду використовують як сировину для вирощування на ній кормових дріжджів. Вона може бути використана для отримання кормового вітаміну В<sub>12</sub>, гліцерину, бетаїну. Також з мелясної барди шляхом виділення дріжджів з зрілої бражки виробляють хлібопекарські дріжджі. Технологія виробництва хлібопекарських дріжджів полягає в послідовності процесів: виділення дріжджів із зрілої мелясної бражки, промивання водою і отримання дріжджового концентрату, пресування, формування, пакування, зберігання.

Сивушне масло використовується як сировина для отримання чистих вищих спиртів, які знаходять застосування в хімічній, медичній та інших галузях промисловості. На їх основі виробляють медичні препарати, запашні речовини, розчинники в лакофарбовій промисловості, а також екстрагенти, флотаранти, поверхнево-активні речовини.

Головна фракція використовується для отримання харчового етилового спирту, а також для виробництва технічного та денатурованого спиртів.

Вуглекислий газ бродіння і післядріжджова барда є мало використовуваними видами відходів спиртового виробництва. тим не менше рідку вуглекислоту використовують у харчовій промисловості для зберігання овочів, м'яса, приготування газованих напоїв та ін. Рідка вуглекислота використовується у виробництві сталевих, чавунного лиття, при електрозварюванні, механічній обробці металів, видобутку нафти тощо.

Загалом, в Україні є достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і достатня науково-технічна та промислова база для розвитку виробництва біопалив, зокрема високорозвинена спиртова галузь. Сумарна виробнича потужність вітчизняних спиртових заводів складає близько 640 млн. л/рік. На забезпечення потреб власного ринку та експортних поставок необхідно від 250 до 260 млн. л харчового спирту. Решта потужностей лишається незадіяною, яка можна було б переорієнтувати на виробництво палива.

На прикладі Вінницької області в табл. 6.19 представлено результати розрахунку економічної ефективності виробництва біопалива (біогазу) з відходів спиртової галузі (спиртової барди).

**Таблиця 6.19 – Економічна ефективність виробництво біогазу на спиртових заводах Вінницької області**

<b>Добова потужність спиртової галузі з виробництва барди (тис. дал)</b>	<b>Обсяг виробництва барди, тис. дал</b>	<b>Кількість установок</b>	<b>Загальна вартість установок млн. дол.</b>	<b>Виробництво біогазу млн. м<sup>3</sup>/рік</b>
880,4	119967	15	2,1	54,0
<b>Собівартість 1 тис. дал барди, грн.</b>	<b>Загальна вартість барди, млн. грн.</b>	<b>Витрати на виробництво, млн. грн./рік</b>	<b>Собівартість виробництва біогазу, млн. грн./рік</b>	<b>Собівартість 1 м<sup>3</sup> газу, грн.</b>
150	18 млн. грн.	45 млн. грн.	63 млн. грн.	0,85

З урахуванням всіх витрат на виробництво собівартість 1 м<sup>3</sup> біогазу становитиме біля 0,85 грн., що порівняно з середньою ціною для промисловості в 4 грн./м<sup>3</sup> є надзвичайно вигідним. А з урахуванням того що залишки після даного процесу можна використовувати для годівлі тварин це є одним з найперспективніших шляхів розвитку галузі.

Так на одному заводі, потужністю 3000 дал етанолу за добу, можна одержати впродовж року 1,8 млн. м<sup>3</sup> біогазу і 6000 т білкового корму. Використання біогазу у котельній заводу заощаджує 1500 т умовного палива за рік.

#### **6.5.2.1 Технології переробки післяспиртової барди**

З ростом обсягів виробництва етилового спирту, в тому числі через розширення його застосування в якості біопалива, проблема переробки післяспиртової барди набуває великої екологічної значимості. У нашій країні це підтверджується законом № 102 ФЗ, який передбачає обов'язкове використання ліній з переробки барди виробниками спирту з 1 січня 2009 р. (перенесено на 1 січня 2010 року в зв'язку з фінансовою кризою).

Основною проблемою в утилізації післяспиртової барди є переробка розчинних речовин. Фактично, на спиртовому заводі потужністю 3000 дал утворюється до 350 м<sup>3</sup>/добу барди, в розчинній частині якої можуть міститися речовини з хімічною потребою в кисні (ХПК) більш 50000 мг О<sub>2</sub>/л. В даний час існує декілька широко поширених напрямків по переробці післяспиртової барди. Вони базуються на принципах, показаних на рис. 6.17.

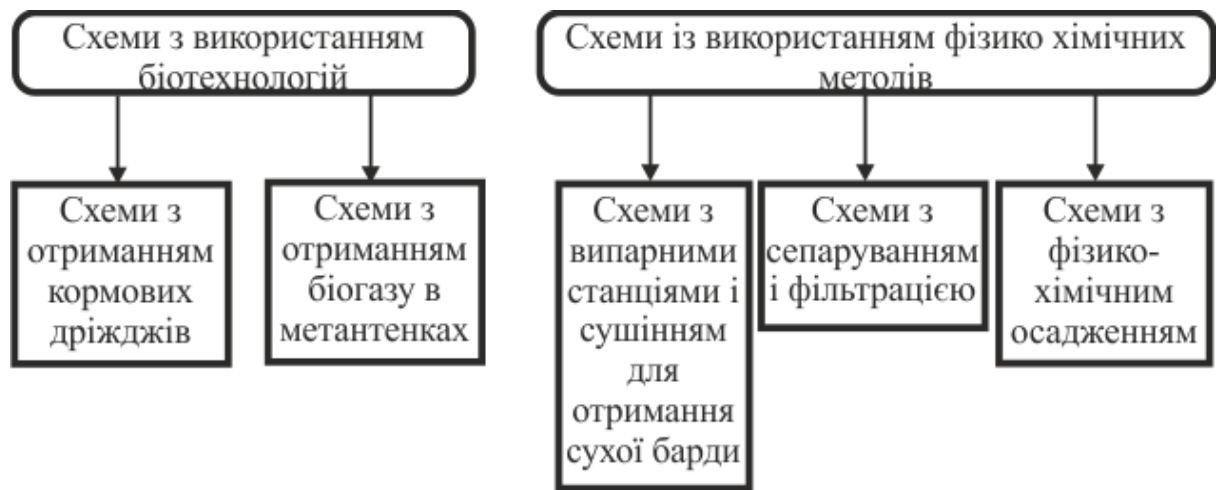


Рис. 6.17 – Схеми утилізації післяспиртової барди

При виборі схеми для впровадження у виробництво необхідно знати переваги та недоліки кожної з них. В даний час у більшості випадків використовується комбінування тих чи інших схем.

Особливістю схеми з отриманням кормових дріжджів є забезпечення утилізації більшості розчинених органічних сполук барди і переведення їх в засвоюваний кормовий білок у вигляді кормових дріжджів.

Кормові дріжджі – це концентрована білкова добавка до кормів, використовуваного на багатьох сільгосп підприємствах і комбикормових заводах. Вміст білка в кормових дріжджах може перевищувати 45...46%. Комбінація мікробного дріжджового білка з рослинним робить дріжджовий кормовий концентрат (ДКК) не просто кормовою добавкою з високим вмістом білка, а справжньою основою кормів для свинарства та птахівництва без дієтологічних обмежень, пов'язаних з амінокислотним складом і засвоєнням протеїнів з зернового джерела.

Технологічна схема переробки барди з отриманням кормових дріжджів представлена на рис. 6.18.

*Підготовка барди.* Гаряча барда надходить на теплообмінник і далі в апарати ферментативного гідролізу, де відбувається біохімічне збагачення барди за рахунок переведення в розчинний стан частини зважених речовин, для подальшої їх утилізації дріжджами. При цьому, в результаті ферментного гідролізу клітковини утворюються засвоювані дріжджами органічні з'єднання. Асиміляція цих поживних речовин робить можливим переробляти небілкову частину зважених речовин барди в кормові дріжджі, тим самим підвищивши загальний вміст білка в готовій продукції і, відповідно, її поживну цінність.

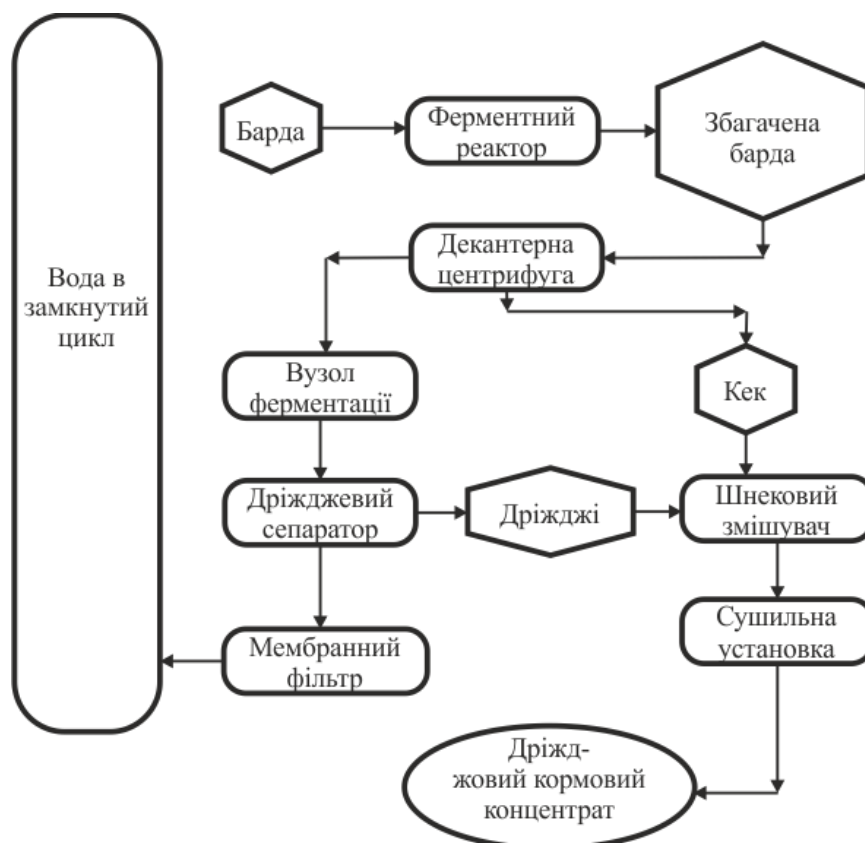


Рис. 6.18 – Схема з отриманням кормових дріжджів

*Прийом та центрифугування підготовленої барди.* Підготовлена барда надходить в напірну ємність і далі насосом на батарею з двох декантерних центрифуг. На центрифугах з суспензії барди виділяються дві фракції: фракція вологих зважених речовин (кек) і рідка фракція (фугат). Вологий кек самовивантаженням подається безпосередньо або за допомогою гвинтового конвеєра в шнековий змішувач. Фугат надходить самопливом у збірник фугата (ферментний реактор).

*Підготовка субстрату для ферментації.* Субстрат для ферментації (процесу вирощування кормових дріжджів) являє собою фугат, збагачений поживними солями. Розчин поживних солей готується в загальному збірнику, в який надходять розчини з окремих витратних ємностей. Поживний розчин солей із загального збірника самопливом подається в збірник фугату. Потім отримана суміш насосом подається на першу щабель ферментації.

*Ферментація.*

*Підготовка чистої культури дріжджів.* На першій стадії чиста культура з пробірки вирощується стандартним способом з використанням дріжджанок. Отриману дріжджову суспензію подають у ферментатор, де її доводять до необхідного об'єму.

*Перша ступінь ферментації.* Суміш фугату і поживних солей з змішувального збірника подається в ферментатор, через який проводиться барботаж повітря від повітродувки. Температура ферментації підтримується за допомогою рециркуляції дріжджової суспензії насосом через зовнішній

теплообмінник. Заданий рівень кислотності підтримується шляхом добавки сірчаної кислоти. Спінена дріжджова суспензія з ферментатора самопливом надходить у флотатор, де відбувається відділення згущеної біомаси дріжджів від дріжджової бражки. Дріжджова бражка з флотатора насосом подається на ферментатор 2 ступені.

*Друга ступінь ферментації.* Відфільтрована дріжджова бражка з флотатора подається на другий ступінь ферментації. У другому ферментаторі бражку барботують повітрям. Температура ферментації підтримується за допомогою рециркуляції дріжджовий суспензії насосом через зовнішній теплообмінник. Заданий рівень кислотності підтримується шляхом добавки сірчаної кислоти. Спінена дріжджова суспензія з ферментатора самопливом надходить у флотатор, де відбувається відділення згущеної біомаси дріжджів від дріжджовий бражки. Рідка фаза дріжджової суспензії відбирається і надходить на доочистку на установки мембранної фільтрації або безпосередньо на очисні станки. Частина рідкої фази може бути повернута в технологію виробництва спирту на ділянку замісу.

*Флотація.* У флотатор надходить спінена дріжджова суспензія з обох ступенів ферментації. Шляхом флотації дріжджова суспензія розділяється на флотоконцентрат з вмістом дріжджової біомаси і рідку фазу – дріжджову бражку. Флотоконцентрат насосом подається на сепарацію, а бражка – на мембранні установки або на очисні споруди.

*Сепарація дріжджів.* На сепараторах відбувається подальше згущення флотоконцентрату. Згущений флотоконцентрат надходить на барабанний вакуум-фільтр, а сепарована дріжджова бражка – на мембранні установки або на очисні споруди. На барабанному вакуум-фільтрі проводиться остаточне згущення дріжджів, після чого дріжджова маса зрізається з полотна вакуум-фільтра і подається в шнековий змішувач. Відокремлена бражка водокільцевим вакуумним насосом подається на мембранні установки або на очисні споруди.

*Отримання ДКК.* Відокремлений на декантерній центрифугі кек і згущені на вакуум-фільтрі дріжджі надходять в шнековий змішувач, в якому протягом 8–15 хв відбувається їх безперервне перемішування до однорідної маси грудок. Вологу суміш кеку і дріжджів подається транспортером в сушильну роторно-трубчасту піч. У сушильній печі відбувається остаточна сушка продукції.

*Очистка стоків.* В процесі виробництва забезпечується частково замкнутий цикл водокористування, коли очищена вода може бути повернута в виробничий процес або може бути скинута в наявні очисні споруди.

Однак і в разі використання процесу виробництва кормових дріжджів концентрація органічних речовин у стічних водах досить істотна. Радикальним способом, що дозволяє вирішити зазначені проблеми, є суміщення хіміко-технологічного процесу виробництва етанолу з біохімічним процесом очищення стоків при використанні бактерій, наприклад, роду *Pseudomonas*, які забезпечують істотно більшу ступінь

конверсії органічних речовин даних стоків. Побічним продуктом (відходом основного виробництва) є післяспиртова барда, яка може бути використана в якості субстрату. Проектоване виробництво повинно включати два основних технологічних процеси – вироблення біомаси та очистку стоків з одночасним відділенням продукту від рідкої фази.

Весь комплексний технологічний процес в результаті виходить практично безвідходним за рахунок конверсії істотної частини органічних речовин, що містяться в стоках. Крім цього, в результаті виходить продукт, який може бути використаний як кормовий компонент.

В основу пропонованої технології покладено трьохстадійний аеробний процес безперервного вирощування спеціально підібраних мікроорганізмів в ферментерах інтенсивного масообміну, при використанні органічних речовин, що містяться в післяспиртовій барді, лютерній і промивній воді в якості єдиного джерела вуглецю.

Незважаючи на досить високе енергоспоживання, застосування також знаходять схеми з випарними станціями і сушінням (DDGS – Dried Distillers Grains with Solubles), представлені на рис. 6.19. Технологія упарювання рідкої частини барди після видалення зважених речовин на випарних станціях – найпоширеніша у світі. Апаратні рішення (один з варіантів – на схемі нижче) на ринку пропонуються шведською компанією «Alfa-Laval», датською «Atlas-Stord», поруч китайських і російських компаній (так звана «Китайська схема») і ін.

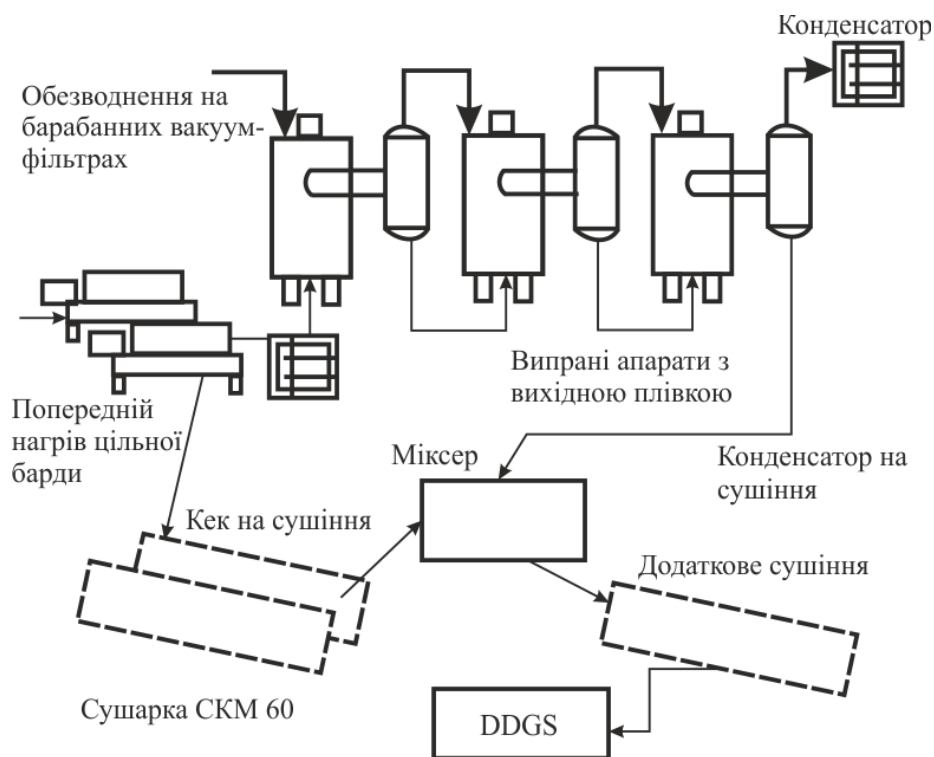


Рис. 6.19 – Схема переробки післяспиртової барди з використанням випарних станцій

Приваблива простота технічного оформлення не знімає цілої низки проблем: вартість випарних станцій і допоміжного устаткування досить висока; процес випарки вимагає значних енергетичних витрат (порядку 1500 кВт·год/м<sup>3</sup> фільтрату/фугату), а утилізація одержуваного конденсату з ГПК 1500 – 3000 мгО<sub>2</sub>/л стає окремим завданням, рішення якої всередині технології DDGS не закладено.

В основному, дана технологія застосовується для переробки мелясної барди. Технологія переробки барди на біогаз заснована на бродінні без доступу кисню. Барда подається в спеціальні ємності, де в активному стані підтримується маса анаеробних бактерій. Бактерії асимілюють поживні речовини що містяться в барді, виробляючи біогаз (суміш метану і вуглекислоти). Біогаз може бути використаний як паливо для котлів, а накопичуваний осад – як добавка до кормів і як добриво. Перевагою даного методу переробки є відносні низькі експлуатаційні витрати. На жаль, даний спосіб обмежений за можливостями переробки концентрованих середовищ, через що виникає необхідність у додатковому розведенні барди. Як наслідок, для реалізації використовуються метантанки об'ємом порядку 2000 м<sup>3</sup> (а, значить, і значні земельні ділянки), так як процес переробки барди анаеробними бактеріями недостатньо інтенсивний. Іншим недоліком методу є достатньо довгий період виходу на режим – до 6 місяців. Нарешті, експлуатація апаратури з горючими газами вимагає не тільки серйозних проектних погоджень, а й кадрів з відповідною професійною підготовкою.

Існує безліч різних способів модернізації безпосередньо спиртового виробництва, такі як бродіння в умовах вакууму, обробка вихідної сировини ультразвуком, застосування інфрачервоної мікронізації.

Перше заслуговує на особливу увагу. Суміщення процесів бродіння і дистиляції під вакуумом дозволяє виключити зі складу технологічної схеми бражну колону. Суміщення бродіння і дистиляції дає також можливість виключення операцій декантування і випарювання післяспиртової барди. Спиртовий дистилят направляється на ректифікацію для отримання біоетанолу, питного або технічного спирту. Виключення зі складу сушильного відділення деканторів і випарної лінії забезпечується завдяки тому, що за рахунок випаровування води концентрація сухих речовин в після спиртовій барді у бродильних чанах до закінчення процесу бродіння зростає до рівня 26...30%. А це дозволяє направляти післяспиртову барду безпосередньо на сушарку. Поліпшення якості отримуваної сухої післяспиртової барди забезпечується наступним причинам. В процесі переробки зерна на спирт і сухі кормопродукти, ні саме зерно, ні напівпродукти на його основі не піддаються впливу високих температур. Завдяки цьому, вітаміни що містяться в зерні не руйнуються, а білки переходять в кормопродукти неденатурованими і практично повністю засвоюються сільськогосподарськими тваринами.

У зв'язку з особливостями технології, до кінця бродіння за рахунок випаровування води і зростання біомаси дріжджів, вміст дріжджів в бражці

становить близько 250 млн. кл/мл, а при класичних технологіях 100...120 млн. кл/мл. В результаті, в кінці циклу бродіння за рахунок випаровування води, в бродильних чанах залишається сметановидна, яка зберігає текучість рідини, що містить 26...30% сухих речовин. Ця рідина містить, зокрема, 34...40% сирого протеїну (в перерахунку на активну суху речовину) і, по суті, є висококонцентрованою кормовою добавкою, придатна для сушіння на сушарці барабанного або іншого типу.

У поєднанні, всі ці та інші способи дозволять зменшити загальну кількість відходів при зниженні їх вологості, що дозволить також зменшити енерговитрати на їх переробку. Але, незважаючи на хід наукового прогресу, проблема утилізації відходів існуючих виробництв залишається досить актуальною.

Незважаючи на відмінність технологій та обладнання, на заводах реалізовано і експлуатується, в основному, два варіанти переробки барди в сухі кормові продукти: кормові дріжджі і суху барду. Кожен з них передбачає отримання продуктів двох модифікацій: кормові дріжджі, вирощені на фільтраті барди (СКД) і на цільній барді (СКДЦ), а суха барда відповідно – на основі дисперсної фази і на цільній барді. Одержані продукти відрізняються, насамперед, за вмістом білка і протеїну. Кормові дріжджі представлені як білковий кормопродукт, а суха барда – як білково-вуглеводний. В даний період, у зв'язку із зростанням цін на зерно і його дефіцитом, попит на зазначені кормопродукти практично необмежений. Незважаючи на відмінність їх якісних показників, в технологіях їх виробництва є схожі процеси, що дозволяє уніфікувати обладнання, покращувати теплоенергетичні і економічні показники.

Всі наведені вище числа та дані переконливо свідчать на користь використання відходів спиртової галузі в альтернативній енергетиці України. А стратегія нарощування обсягів виробництва і використання біопалива стимулюватиме розвиток підприємств не лише спиртової галузі, а й тісно пов'язаних з нею сільського господарства та цукрової галузі промисловості. Це дасть змогу стабілізувати ринок збуту продукції, модернізувати виробництво, забезпечити додаткові робочі місця.

## **6.6. Відходи агропромислового комплексу**

### **6.6.1. Суть, структура та особливості функціонування агропромислового комплексу в Україні**

Агропромисловий комплекс (АПК) – важлива складова частина народного господарства, завданням якої є забезпечення населення продуктами харчування, а промисловість – сировиною. Агропромисловий комплекс України – це складна система, яка об'єднує всі галузі народного господарства, що беруть участь у виробництві сільськогосподарської продукції і доведенні її до споживача.



Агропромисловий комплекс є структуризованою системою, в якій оптимально поєднується галузі сільськогосподарського виробництва, харчової і переробної промисловості, діяльність яких пов'язана з виробництвом, переробкою і збутом сільськогосподарської продукції. Він розвивається на основі комплексоутворення та інтеграційних процесів, тобто комбінування та кооперування виробництва. У процесі їхнього розвитку, як правило, формуються агропромислові підприємства і агропромислові територіальні виробничі комплекси, з яких перші являють собою органічне поєднання виробництва сільськогосподарської продукції та її промислової переробки, а другі – сукупність господарств, промислових підприємств та організацій, пов'язаних з виробництвом, промисловою переробкою, зберіганням і реалізацією сільськогосподарської продукції в межах окремих районів, областей і природно – економічних зон.

Галузева структура АПК відбиває галузевий і внутрігалузевий поділ праці в ньому. У ньому науково-технічний прогрес зумовлює виникнення нових галузей і виробництв. З їхнім утворенням ускладнюються економічні, технологічні та організаційно-господарські зв'язки між різними галузями агропромислового виробництва. В процесі комплексоутворення та поглиблення інтеграції об'єктивно формується сукупність галузей та окремих виробництв, які функціонують з метою виробництва певних видів продукції.

Таким багатогалузевим інтегрованим утворенням є і АПК України. Його галузева структура досить складна і багатофункціональна. В умовах досягнутого рівня продуктивних сил у виробництві кінцевої продукції АПК беруть участь близько ста промислових виробництв, з яких понад 60 працюють виключно на сільськогосподарській сировині або напівфабрикатах. АПК охоплює багато видів матеріального виробництва.

Структуру АПК наведено на рис. 6.20.

Поділ здійснено на: 1) галузі сільськогосподарського виробництва (рослинництво і тваринництво) та галузі, що забезпечують виробничо-технічне, агрохімічне, зооветеринарне, іригаційно-меліоративне обслуговування; 2) галузі і підгалузі промисловості, що у взаємодії із сільськогосподарським господарством забезпечують виробництво продовольчих товарів (харчова, мукомельно – круп'яна, м'ясна, молочна та інші галузі промисловості, які виробляють для агропромислового комплексу промислові засоби виробництва (сільськогосподарські машини і технологічне обладнання та предмети праці (мінеральні добрива, хімічні меліоранти, пестициди, карбіцити, мікробіологічні добавки тощо). Це тракторне і сільськогосподарське машинобудування, підприємства хімічної, мікробіологічної і комбікормової промисловості; 3) галузі і виробництва, що забезпечують заготівлю, транспортування, зберігання і переробку сільськогосподарської продукції.

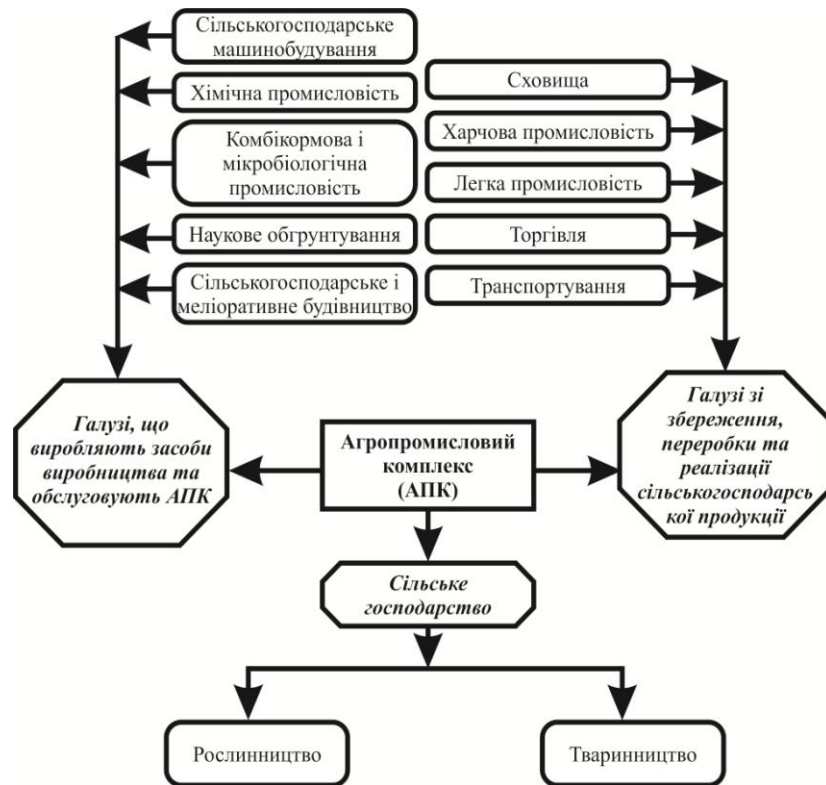


Рис. 6.20 – Структура агропромислового комплексу України

Структура агропромислового комплексу підпорядкована максимальному забезпеченню населення у продуктах харчування, а територіальна – максимальному використанню територіальних можливостей для розвитку сільського господарства і харчової промисловості. Надзвичайно велика різноманітність природних умов і ресурсів (земельних, водних, кліматичних, біологічних та інших), їх поєднання в різних фізико-географічних зонах і районах зумовлює необхідність територіальної організації агропромислового виробництва, поглиблення спеціалізації на виробництві таких видів продукції, для яких вони мають найкращі природно-економічні умови і які обходяться їм якнайдешевше.

Галузева структура агропромислового комплексу характеризується великими диспропорціями. Особливо вони помітні у співвідношенні сільськогосподарської і промислово-переробної ланки, що безпосередньо відбивається на незабезпеченні ринку продуктів харчування вітчизняною продукцією. Негативно позначається на ефективності функціонування агропромислового комплексу і відставання виробництва сільськогосподарського машинобудування, добрив, гербіцидів, комбікормів тощо.

В агропромисловому комплексі України провідне місце займає сільське господарство. Саме в аграрному секторі зайнято майже 70% працівників середнього віку та виробляється більше 65% продукції агропромислового комплексу. За характером продукції сільське господарство відноситься до II підрозділу суспільного виробництва предметів споживання. Основним предметом праці є земля. Сільське господарство поширене на всій території

України, його розвиток визначає високий рівень господарського освоєння земель України, земельний фонд якої складає 60,3 млн. га, з них приблизно 75% – сільськогосподарські угіддя. Їх площа дорівнює 40,8 млн. га, з яких 80% – рілля, 16,5% – сінокоси і пасовища. Але в останні роки площі під сільськогосподарськими культурами внаслідок економічної кризи подекуди знизились майже вдвічі.

У структурі сільського господарства розвиваються рослинництво і тваринництво. Співвідношення обсягів їх продукції дещо змінюється, і в останні роки домінує рослинництво, на його частку припадає приблизно 52...53% усієї сільськогосподарської продукції. Провідне місце в рослинництві займає зернове господарство. Саме зернові культури є основними у всіх сільськогосподарських зонах (основними галузями, що перероблюють зерно, є мукомельно-круп'яна, комбікормова і хлібопекарська).

Технічні культури займають 11% у структурі посівних площ України. Центральне місце серед технічних культур посідають цукрові буряки. До провідних технічних культур на півночі належать картопля, льон, конопля, а в Лісостепу і Степу – соняшник. Кормові культури представлені вівсом, ячменем, частково соєю, люпином, кукурудзою. Під ними знаходиться майже 35% посівної площі.

Збалансована структура сільського господарства передбачає обов'язковий розвиток другої основної її ланки – тваринництва. В окремі роки на його частку в Україні припадало до 53% обсягу валової сільськогосподарської продукції.

Тваринництво в Україні багатогалузеве. Основними його галузями є скотарство, свинарство, вівчарство і птахівництво. Їх частка у виробництві м'яса неоднакова, 47% становить яловичина і телятина, 35% – свинина. В останнє десятиліття все інтенсивніше розвивається бджільництво та рибальство, відроджується традиційне для України в минулому конярство.

Необхідною умовою розвитку тваринництва та суттєвим фактором, який визначає його структуру і спеціалізацію, є кормове виробництво. Важливим джерелом кормів є: 1) кормовиробнича промисловість; 2) вирощування кормових, зернофуражних культур; 3) відходи харчової промисловості.

В загальному випадку, тваринництво забезпечує населення продуктами харчування, а харчову промисловість – сировиною.

За виробничою ознакою до складу агропромислового комплексу входять продовольчий комплекс і непродовольчий. Продовольчий комплекс – це сукупність галузей, пов'язаних з виробництвом продуктів харчування рослинного і тваринного походження. Крім того, до продовольчого комплексу (ПК) входять виробництва, що технологічно не належать до сільського господарства. Це – виробництво солі, мінеральних вод, вилов риби та ін.

До непродовольчого комплексу належать галузі, пов'язані з виробництвом товарів широкого вжитку із сировини рослинного і тваринного походження; ті галузі легкої промисловості, які займаються первинною переробкою сільськогосподарської сировини.

Ці комплекси, в свою чергу, залежно від виду сировини, що використовується, поділяються на рослинницькі і тваринницькі підкомплекси.

Особливу роль в агропромисловому комплексі відіграє продовольчий комплекс, який забезпечує населення продуктами харчування. Він включає галузі, пов'язані лише з виробництвом продовольчої продукції. До складу цього комплексу входять зернопродуктовий, картоплепродуктовий, цукробуряковий, плодоовочеконсервний, виноградно-виноробний, м'ясний, молочний, олійно-жировий підкомплекси. Крім того, до його складу входять певні інфраструктурні галузі.

Щодо територіальної структури агропромислового комплексу, то вона формується на конкретній території утворення у вигляді різних форм агропромислової інтеграції, тобто елементів територіальної структури. Виділяють локальні і регіональні агропромислові комплекси. Локальні агропромислові комплекси сформувалися на порівняно невеликих територіях на основі поєднання агропромислових підприємств по переробці малотранспортабельної сільськогосподарської продукції і мають найнижчий ступінь інтеграції. Локальні форми агропромислового комплексу є найбільш поширеними. Серед них виділяють:

- агропромисловий пункт (центр) – локальна форма АПК, що об'єднує в населеному пункті переробку кількох видів сільськогосподарської сировини;

- агропромисловий куц – локальна форма агропромислового комплексу, що характеризується компактним розміщенням на невеликій території агропромислових пунктів і центрів з їх сировинними зонами;

- агропромисловий вузол – складне територіальне агропромислове утворення, яке розглядається як система компактно розміщених агропромислових пунктів, центрів і куців навколо міста (як правило, обласного чи районного центру).

АПК виконує ряд функцій. Вони здійснюються через аграрну політику держави, що спрямована на інтенсивний розвиток агропромислового комплексу, поліпшення умов життя і побуту. Реалізується аграрна політика через такі інструменти, як законодавча діяльність, механізм цін, оподаткування, кредитна система, надання субсидій сільському господарству, стимулювання експорту сільськогосподарської продукції, фінансування розвитку виробничої і соціальної інфраструктури села. Особливу роль відіграють дотації виробниками сільськогосподарської продукції. Розвинуті країни надають таких дотацій щорічно на суму понад 300 млрд. доларів. А у країнах ЄС такі дотації досягають 40% вартості валової продукції сільського господарства.

В Україні агропромисловий комплекс є одним із найважливіших секторів економіки. Тут зосереджено понад половину виробничих фондів, що нині функціонують, виробляється близько половини валового внутрішнього продукту, 2/3 споживчих товарів, прямо або опосередковано за його рахунок формується близько 30% зведеного бюджету, зайнято майже 40% працездатного населення.

Однією з найважливіших функцій агропромислового комплексу є забезпечення потреб населення країни у продуктах харчування. Яких би висот не досяг науково-технічний прогрес, забезпечення однієї з найважливіших потреб людини як живого організму здійснюється благами, що створюються в агропромисловому комплексі. Розмір цих благ залишається однією з основних складових рівня життя у кожній країні.

Другою функцією агропромислового комплексу є створення сировинної бази для галузей, що виробляють непродовольчі споживчі товари та продукти виробничого призначення. Важливе призначення агропромислового комплексу – підтримання і нарощування ефективності основного засобу сільськогосподарського виробництва, яким є земля, та забезпечення економічної рівноваги у природно-господарському середовищі. АПК виконує і таку соціальну функцію, як поліпшення соціальних умов працівників сільського господарства.

У більшості країн з перехідним типом економіки відбувається становлення агропромислового комплексу, де забезпечено лише організаційно-юридичне, а не економічне об'єднання ланок агропромислового комплексу. Його мета полягає у забезпеченні реальної економічної єдності, особливо між сільським господарством і взаємопов'язаними з ним галузями промисловості та інфраструктури, оскільки неузгодженість у їхньому розвитку та порушення еквівалентності в обміні між ними поки що не дають можливості досягти відчутних економічних і соціальних результатів.

В Україні розвиток інтеграційних процесів гальмується незбалансованим і нераціональним розвитком окремих галузей і сфер, які входять до складу АПК.

Невідповідність інтересів промислових міністерств і відомств з інтересами сільського господарства зумовило різке підвищення цін на промислову продукцію, продукцію будівельного комплексу, дисбаланс між планами виробництва і матеріально-технічного забезпечення тощо. Все це послабило інтеграційні процеси, а в окремих випадках призвело навіть до дезінтеграції.

Тому розвиток і зміцнення інтеграційних зв'язків можливі на шляхах переходу до ринкових відносин, функціонування різних форм і типів господарств, подальшого вдосконалення економічного механізму взаємодії суміжних галузей. А основною умовою переходу до ринкових відносин в АПК є повноцінне та безперебійне забезпечення відтворювання сировинних ресурсів (рис. 6.21).

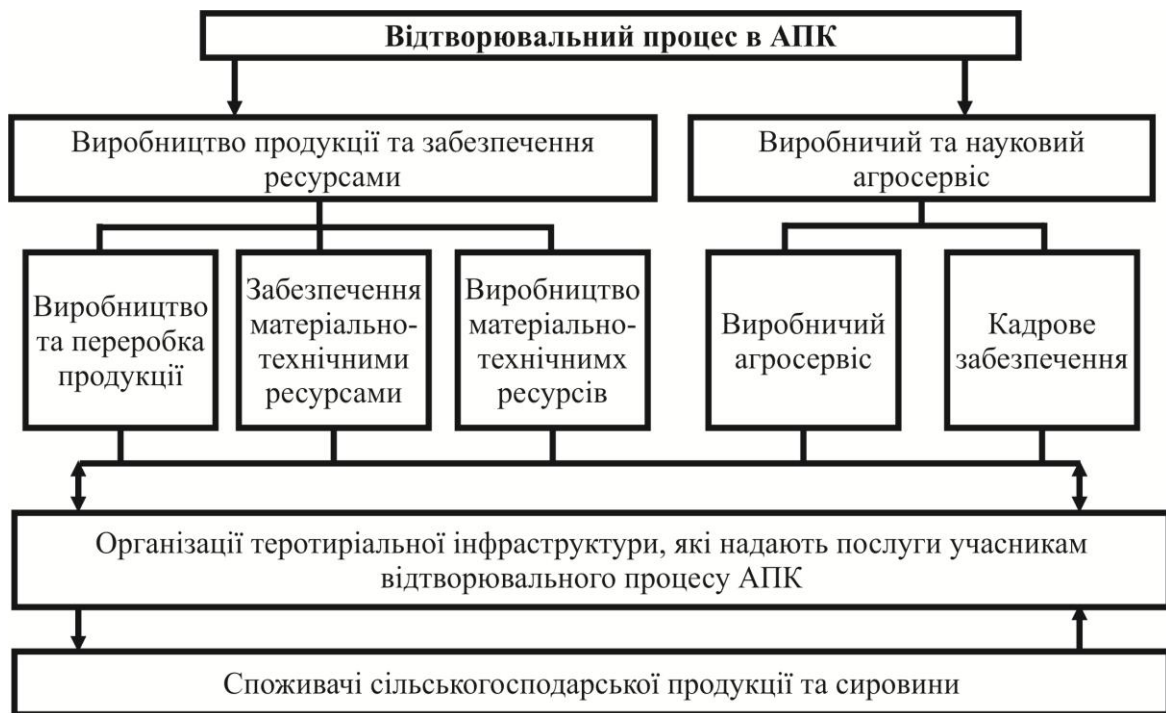


Рис. 6.21 – Процес відтворення АПК

Проблемне питання відтворення ресурсів в АПК не є першочерговим.

За останні роки у сільськогосподарському виробництві України значно загострилися кризові явища: значно знизилися обсяги валової продукції, погіршилося використання природних ресурсів, знизилася родючість ґрунтів, поглибився дисбаланс між галузями. Зменшення поголів'я худоби досягло критичної межі при значному зниженні його продуктивності.

Небезпечною тенденцією є висока спрацьованість машинно – технологічного парку, а відсутність фінансових коштів для здійснення ремонтно – відновлюваних робіт лише погіршує його стан. Для досягнення рівня технологічних потреб не вистачає десятків тисяч різних технічних засобів. Поряд з цим різко погіршилося забезпечення галузей агропромислового комплексу висококваліфікованими кадрами.

У цілому, до основних проблем розвитку АПК України можна віднести: впровадження багатоукладної системи власності; застосування ефективних систем землекористування; впровадження сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур; розвиток вітчизняного виробництва сучасних сільськогосподарських машин, зокрема, засобів малої механізації; розширення виробництва добрив, гербіцидів тощо; запровадження комплексних агрохімічних та лісових меліорацій; розвиток виробничої та соціальної інфраструктури для підйому сільської місцевості; державна підтримка агропромислового комплексу через переорієнтацію кредитно-фінансової, податкової і цінової політики на підтримку сільськогосподарського виробника.

Значної шкоди АПК завдала аварія на Чорнобильській АЕС. Вона призвела до забруднення радіонуклідами 3,5 млн. га угідь, з яких 70 тис. га виведено з сільськогосподарського використання.

Великі проблеми виникли також із використанням природних ресурсів. Якість навколишнього середовища, його відтворювальний і відновлюваний потенціал значно зменшується з нарощуванням масштабів ресурсовикористання і обсягів забруднюючих речовин та відходів. І все це аж ніяк не пов'язане із збільшенням населення або підвищенням його життєвого рівня. Навпаки, приріст населення падає, а життєвий рівень погіршується. Кризовий стан, що склався в аграрному секторі, та використання природних ресурсів вимагають концептуального визначення основних напрямів та змісту аграрної реформи, взаємоузгодження експлуатації природних ресурсів, сфер вкладення капіталу з урахуванням чисельності населення та майбутніми потребами людей.

У 2009 році Міністерство аграрної політики України з метою зменшення енергоємності ВВП та підвищення енергоефективності АПК розробило Державну галузеву програму підвищення енергоефективності в агропромисловому комплексі на 2010 – 2014 роки. Відповідно до вказаної Програми основними причинами неефективного використання енергоресурсів в АПК є:

- надмірна зношеність основних фондів с/г підприємств;
- низький рівень впровадження новітніх технологій вирощування сільськогосподарських культур;
- недосконалість механізму утворення ціни на енергоносії;
- низький рівень впровадження альтернативних джерел енергії.

Визначені проблемні питання розв'язуються завдяки реалізації заходів за такими напрямками: агротехнологічними, технічними, організаційними.

*Агротехнологічний напрям* зменшення енергоємності АПК включає такі заходи:

- підвищення потенційної урожайності сільськогосподарських культур;
- мінімізація глибини обробки ґрунту до рівня, який не веде до зменшення урожайності.

*До технічних засобів відносять:*

- зменшення витрат енергетичних ресурсів;
- заміну одноопераційних знарядь комбінованими багатоопераційними і багатофункціональними, які забезпечують зменшення витрат пального на 18...24%, а трудових ресурсів – в 1,5 рази;
- розробку і застосування в конструкціях тракторів, комбайнів, двигунів внутрішнього згорання з низькими питомими витратами пального на одиницю потужності, що забезпечує зменшення непродуктивних витрат пального на 15...20%;
- підтримання двигунів внутрішнього згорання в технічно справному стані (20...30% економії дизельного пального);

- впровадження на підприємствах харчової промисловості нових видів енергозберігаючого котельного обладнання, систем утилізації тепла, автоматизації технологічних процесів, реконструкції існуючих підприємств;
- створення об'єктів з виробництва та поширення використання в АПК біологічних видів палива для заміни традиційних видів енергоресурсів;
- заміну в освітлювальних установках побутових і виробничих приміщень ламп розжарювання на енергоефективні лампи.

*Доорганізаційних заходів*, що забезпечують економію витрат пального, відносяться:

- раціональне комплектування машинно-тракторних агрегатів;
- комплектування машинно-тракторного парку аграрних формувань відповідно до технологій та обсягів механізованих робіт, які забезпечать інтенсивне використання машин і знарядь впродовж всього періоду польових робіт;
- міжгалузеве використання сільськогосподарської техніки.

### **6.6.2 Відходи агропромислового комплексу України. Класифікація**

Процес людської діяльності пов'язаний з появою різних відходів, що можуть з'являтися як у процесі виробництва, так і в процесі зберігання та споживання продукції. Відходи з одного боку можуть бути джерелом вторинних матеріальних ресурсів для підприємства, з іншого – додатковими витратами виробництва та джерелом забруднюючих речовин.

Українське законодавство визначає «*відходи*» як будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їх власник повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення. У виробничому процесі відходи можуть бути у вигляді не використовуваних матеріальних цінностей, безповоротних відходів або у вигляді неминучих технологічних втрат. Під «*неминучими технологічними втратами*» слід розуміти безповоротні втрати виробничих речовин, обумовлених специфікою технології (випар, усушка, розпилення, вигар тощо).

Поняття «*відходи*» тісно пов'язано з поняттям «*вторинні матеріальні ресурси*». За різними джерелами відходи є складовою вторинних матеріальних ресурсів в тій частині, яка може бути використана. *Відходи як вторинна сировина* відповідно до положень Закону України «Про відходи» представляють собою ту частину відходів, для утилізації та переробки яких в Україні існують відповідні технології, виробничо-технологічні і/або економічні передумови.

Серед усіх сфер людської діяльності агропромисловий комплекс (АПК) України характеризується чи не найбільшою кількістю відходів та вторинної сировини. Нині все гострішою стає проблема раціонального ресурсокористування в переробних галузях аграрного сектора. Все частіше процеси переробки сільськогосподарської сировини переводяться на



безвідходний цикл виробництва, заснованого на комплексному використанні природно-сировинних ресурсів і технологічних відходів.

Проблема переведення процесів переробки сільськогосподарської сировини на безвідходний цикл виробництва має два взаємопов'язаних аспекти – економічний і екологічний. Перший аспект пов'язаний з розширенням ресурсних можливостей за рахунок більш глибокої, комплексної переробки сільськогосподарської сировини і залучення на цій основі невикористаних відходів як джерела одержання продукції харчування, кормів і добрив. Переробка сільськогосподарської сировини зараз – одна з багатовідходних галузей народного господарства. Тільки в Україні поточний вихід відходів і побічних продуктів щорічно становить близько 50 млн. т. Ці відходи містять сотні тисяч тонн цукру, білка, харчових кислот і масел, вітамінів та багато інших цінних речовин, виробництво яких здійснюється на спеціалізованих підприємствах. Нині промисловій переробці піддаються не більше 22% відходів.

Другий аспект проблеми полягає у пошуку нових організаційно-економічних принципів розвитку галузі, що враховують екологічний фактор. Зараз він все більше впливає на формування технологічної структури переробки сільськогосподарської сировини. Організація безвідходного виробництва розглядається у зв'язку з охороною навколишнього середовища.

Вихід основного продукту в АПК іноді становить 15...30% від маси вихідної сировини. Інша частина, що містить значну кількість цінних речовин, в даному виробничому процесі не використовується, переходить в так звані відходи виробництва, які часто є вторинною сировиною для виробництва додаткової продукції або енергії.

Підприємства самостійно визначають та подають відомості про подальше поводження з відходами за місцем надходження, зокрема зазначають спосіб їх використання чи переробки (рис. 6.22).



Рис. 6.22 – Напрями використання відходів

З метою забезпечення збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про об'єкти утворення, оброблення та утилізації відходів ведеться їх реєстр, в якому визначаються номенклатура, обсяги утворення, кількісні та якісні характеристики відходів, інформація про поводження з ними та заходи

щодо зменшення обсягів утворення відходів і рівня їх небезпеки. Реєстр ведеться на підставі звітних даних виробників відходів, відомостей спеціально уповноважених органів виконавчої влади у сфері поводження з відходами. Порядок ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів визначається Кабінетом Міністрів України.

В результаті сільськогосподарського виробництва утворюються наступні види продукції і відходів:

1) *Основна продукція* – та продукція, для отримання якої створено і здійснюється дане виробництво. Основний продукт завжди є товарним, має стандарт і ціну.

2) *Побічний продукт* – додаткова продукція, що утворюється при виробництві основної продукції і не є метою даного виробництва, але придатна як сировину в іншому виробництві або для споживання в якості готової продукції. Побічні продукти виробництва утворюються в результаті фізико – хімічної переробки сировини поряд з основною продукцією в єдиному технологічному циклі і зберігають максимум корисних речовин в незмінному вигляді. Побічні продукти, як правило, є товарними, мають стандарт або технічні умови і встановлену ціну.

3) *Відходи виробництва* – залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, інших виробів і продуктів, що утворилися протягом або по завершенні виробничого процесу, які втратили свої споживчі властивості.

Відходи поділяються на використовувані і невикористовувані.

*Використовувані відходи виробництва* – ті відходи, щодо яких є можливість і доцільність їх використання після обробки. Використовувані відходи розглядаються як вторинні сировинні ресурси (ВСР). До цієї групи відходів відноситься найбільше число відходів в АПК, які можуть бути реалізовані в подальшому в якості сировини або добавок до нього при виробництві нової продукції або як продукція іншого призначення (наприклад, корми).

*Невикористані відходи* – відходи виробництва, для яких на сьогоднішній день не встановлено можливість або доцільність використання як безпосередньо, так і після обробки.

Однак, з впровадженням прогресивних технологічних процесів, передової техніки, нових видів сировини і зі зміною попиту на продукцію відходи виробництва можуть змінювати свою суспільну корисність. Так, мало- або невикористані відходи можуть стати вихідним матеріалом для утворення альтернативних джерел енергії.

В Україні потенціал виробництва енергії з відходів АПК оцінюють у межах 30...40 млрд. м<sup>3</sup>, або 10,98 млн. т умовного палива, з яких 6,0 млн. т можна отримати з гною тварин і птахів, по 2,0 млн. т – з початків гички (цукрових буряків) та з кукурудзи на силос (при урожайності 200 ц/га), 0,77 млн. т умовного палива – використовуючи як сировину полігони твердих побутових відходів та 0,21 млн. т – за рахунок збродження осаду очисних

споруд стічних вод. На рис. 6.23 представлено діаграму об'ємів відходів АПК у різних секторах.



Рис. 6.23 – Структура утворення відходів у АПК України

Класифікація вторинних ресурсів і відходів виробництва АПК дає первинну інформацію про їх якість і властивості. Загальноприйнятою є класифікація ВСР і відходів АПК за такими ознаками:

- За джерелами утворення: *рослинні* (стебла зернових та технічних культур, корзинки і стебла соняшнику, лляні батого, стрижні кукурудзяних качанів, картопляна мезга, відходи сінажу та силосу, буряковий жом, макуха (шрот), барда, виноградні вичавки та ін.); *тваринні* (кров, кістки, сироватка, знежирене молоко, пахта, гній тощо); *мінеральні* (відходи соляної промисловості); *хімічні* (відходи виробництва синтетичних миючих засобів, парфюмерно-косметичної галузі та ін.).

- За галузевою приналежністю: наприклад, у харчовій та харчопереробній промисловості за цією ознакою розрізняють відходи цукрової, масложирової, спиртової, крохмалепатокової, пивоварної, чайної, тютюнової, зернопереробної, плодоовочевої, хлібопекарської, молочної, м'ясної промисловості.

- За агрегатним станом: *тверді* (солома, соняшникове лушпиння, бавовняне лушпиння, солодові паростки, кукурудзяний зародок, виноградні та плодоовочеві насіння, кістки, жирова сировина, шерсть, щетина і т.д.); *пастоподібні* (фільтраційний осад, гній, меляса, шлами сепараторів); *рідкі* (соапсток, мелясна барда, клітинний сік картоплі, дріжджові осадки, кров, сироватка, знежирене молоко, пахта); *газоподібні* (вуглекислота бродіння).

- За технологічними стадіями отримання: отримані при первинній переробці сировини (буряковий жом, плодови кісточка, яблучні і виноградні вичавки, кров, кістка, шерсть, знежирене молоко); *одержувані на стадії вторинної переробки продукції* (рафінована патока, фосфатидні концентрати,

вибілюючі глини, післядріжджова мелясна барда, молочна сироватка); отримані при промисловій переробці відходів (кісточкових крихта, відходи виробництва харчових концентратів, фільтрат цитрату кальцію тощо).

- За можливістю повторного використання без доопрацювання: крихти, брак і лом хліба, хлібобулочних, борошняних, кондитерських, макаронних виробів).

- За матеріаломісткістю: великотоннажні (умовно понад 100 тис. т на рік) – солома, буряковий жом; дефекаат, шроти (макуха), картопляна і кукурудзяна мезга, гній, пташиний послід, сироватка, тощо; малотоннажні (умовно до 100 тис. т на рік) - гудрон, залишкові пивні дріжджі, тютюнові відходи.

- За ступенем використання: повністю використовувані (меляса, буряковий жом, кров, кістки, сироватка, знежирене молоко, пахта); частково використовувані (дефекаат, вуглекислий газ, картопляний сік, дробина хмелю).

- За напрямками подальшого використання: для виробництва харчових продуктів; в якості кормів у сирому або доопрацьованому вигляді; в якості сировини для виробництва продукції технічного призначення; в якості добрив; у будівництві; в якості палива.

- За ступенем впливу на навколишнє середовище: небезпечні та безпечні. Небезпечні відходи – ті, які містять шкідливі речовини, що володіють небезпечними властивостями (токсичність, вибухонебезпечність, висока реакційна здатність) або містять збудників інфекційних хвороб, а також ті, що можуть становити безпосередню або потенційну небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я людини самостійно або при вступі в контакт з іншими речовинами. Безпечні (або практично безпечні) відходи – дерев'яна тирса, буряковий жом, меляса, макуха і шроти, фосфатидні концентрати, зернокартопляна барда).

### **6.6.3 Біомаса**

Біомаса – термін, що об'єднує всі органічні речовини рослинного і тваринного походження. Біомаса ділиться на первинну і вторинну.

До первинної біомаси відносять деревину, сільськогосподарські культури, водні рослини, тварин, мікроорганізмів тощо. До вторинної біомаси відносять відходи переробки первинної біомаси і продукти життєдіяльності людини і тварин. У свою чергу, відходи також ділять на первинні відходи переробки первинної біомаси: солома, бадилля, тирса, тріска, спиртна барда тощо і вторинні – продукти фізіологічного обміну тварин і людини.

Рослинна біомаса є первинним джерелом енергії на Землі. Вона утворюється під час фотосинтезу з діоксиду вуглецю і води з виділенням кисню. Під час утворення 1 кг сухої біомаси (деревини) поглинається близько 1,83 кг CO<sub>2</sub>, і стільки ж виділяється під час її розкладання (окиснення, горіння). У результаті вміст вуглекислого газу в атмосфері

залишається незмінним. Крім того, біомаса як паливо має низку переваг. Використання біомаси для отримання енергії більш екологічно безпечно, ніж, наприклад, вугілля через низький вміст сірки (під час спалювання біомаси виділяється менше 0,2% сірки і від 3 до 5% золи порівняно з 2...3% і 10...15% відповідно для вугілля).

Біомаса також має перевагу перед вугіллям завдяки своїй більш високій здібності до реакції газифікації. Вугілля газифікується за високої температури в чистому кисні, що потребує використання установок для зріджування повітря і отримання кисню. Біомаса газифікується за нижчої температури, при цьому теплота для підтримки процесу може бути передана через теплообмінники від зовнішнього джерела. Склад генераторного газу: 18...20% –  $H_2$ , 18...20% –  $CO$ , 2...3% –  $CH_4$ , 8...10% –  $CO_2$ , решта – азот. Крім того, енергія, що отримується під час використання біомаси, відносно дешева і є можливості її накопичення.

Сьогодні в світі для енергетичних цілей використовується до 1 млрд у.т. рослинної маси, що еквівалентно 25% світової здобичі нафти. Потенційні ресурси рослинної маси для енергетичного використання досягають 100 млрд у.т.

У нашій країні біомаса використовується здебільшого у вигляді деревини і відходів рослинництва для опалювання будинків і громадських будівель, для процесів сушіння, отримання пари і гарячої води. Тому важливим завданням є підвищення ефективності використовуваного пічного і котельного устаткування та його автоматизація.

Критичний аналіз результатів останніх досліджень, пов'язаних з оцінюванням ролі лісу як потенційного джерела і поглинача  $CO_2$ , показав, що в помірних і високих широтах, де основний запас вуглецю міститься в ґрунті, в масштабі декількох десятків років ці ефекти можуть компенсувати один одного. Додатковий і дуже значний вплив на зростання лісів надає власне підвищення концентрації вуглекислоти в атмосфері.

Сьогодні створенню плантацій енергетичних лісів велику увагу приділяють багато європейських країн. У стадії досліднопромислової експлуатації знаходяться електростанції (для яких організовано вирощування енергетичних лісів, тобто деревини), що працюють на спалюванні. Широко використовуються відходи лісопереробки і лісозаготівель, а також енергетичного торфу для виробництва теплової і електричної енергії (країни Скандинавії) як у разі прямого спалювання біомаси, так і через її газифікацію з подальшим спалюванням отриманого генераторного газу. Підвищений інтерес до створення таких плантацій викликаний не тільки отриманням альтернативного джерела енергії, але і можливістю переорієнтації селянських господарств з вирощування надмірної сільськогосподарської продукції на ефективне використання земель в інших цілях. Сьогодні для цього випробувано майже 20 різних видів рослин – деревинних, чагарникових і трав'янистих, зокрема таких, як кукурудза і цукрова тростина. Як енергетичну сировину в Росії рекомендовано використовувати будяк і

коров'як, які вкрай невибагливі до кліматичних умов і вельми цінні в енергетичному плані, оскільки містять у своєму складі 7,6...9,6% від ваги піролітичних масел.

Для створення плантацій енергетичних лісів у помірній кліматичній зоні найбільш перспективні різновиди швидкорослих сортів тополі (волосистоплодної і канадської) і верби, а в південній частині країни – акації і евкаліпту.

Кількість енергії, яку можна отримати з енергетичної плантації за врожайності 15 т сухої біомаси з гектара в рік (теплотворна здатність 15 МДж/кг), становить 225 ГДж/га. За ККД газотурбінної електростанції 40% – один гектар енергетичної плантації може забезпечити екологічно чистим паливом виробництво 252 МВт/год електроенергії в рік.

Використання біомаси енергетичних лісів на ТЕЦ для вироблення електроенергії дозволяє вирішити ще одну важливу задачу: отримати гази з високим вмістом CO<sub>2</sub> – до 10...11%, що дає можливість після концентрації CO<sub>2</sub> досить просто використовувати його для вирощування мікроводоростей. Це може бути, наприклад, широко відома мікроскопічна водорість – хлорела, що містить у своїй біомасі 30...40% цукрів, які можуть бути переброджені в етанол, що є хорошим моторним паливом, і до 40% ліпідів, які також є прекрасним паливом і можуть бути використані як замітники мазуту. Принциповим у цій схемі є те, що після дезінтеграції і сепарації біомаси біогенні речовини – фосфор, калій, азот і так далі – повертаються в культуральне середовище для повторного вирощування мікроводоростей.

До основних промислових відходів належать теплові викиди в атмосферу і воду з теплоенергетичних установок, печей, систем опалювання, охолодження, вентиляції, кондиціонування повітря і так далі. З одного боку, вони є джерелом вторинних енергоресурсів, з іншого – негативно впливають на атмосферні процеси і клімат регіонів, змінюють біоценоз водоймищ і тому подібне. Сучасні електростанції, що працюють на органічному паливі, мають к.к.д. не вище 40%. Приблизно 10% теплової енергії відводиться з газами, і близько 50% розсівається з водою, що охолоджує. Для промислових підприємств такі теплові відходи не представляють інтересу. Основними споживачами низькопотенціальних вторинних енергоресурсів можуть бути галузі сільськогосподарського виробництва, зокрема тепличні господарства, які можуть використовуватися за прямим призначенням для вирощування продуктів рослинництва і виробництва мікроводоростей. Розрахунки показують вигідність часткової заміни градирен водоймищем-охолоджувачем, на поверхні якого можна розташовувати культиватори з мікроводоростями. У середніх широтах водорості можна вирощувати в цих умовах протягом літнього сезону (з травня по вересень). А у разі вирощування мікроводоростей у тепличних комплексах скидне тепло ТЕЦ здатне покрити до 77% потреб в теплі, необхідному для підтримання оптимального мікроклімату. У разі вирощування біомаси спіруліни в теплицях у кліматичних умовах помірного

поясу потрібний для стандартної плантації площа 10000 м<sup>2</sup> з продуктивністю 13 т сухої біомаси на рік близько 5000 ГКал теплової енергії і 540 тис. КВт год. електроенергії. У разі використання скидного тепла АЕС або ТЕС; досягається здешевлення виробництва принаймні на 30%.

Мікродорості можуть бути використані як ефективний поглинач важких металів з рідкого середовища. У цій галузі є значний досвід вирощування спіруліни на промислових і муніципальних стічних водах. Оскільки АЕС потужністю 1 ГВт вимагає для свого охолодження водоймище площею 30 км<sup>2</sup>, у разі розміщення на його поверхні плантації мікродоростей з середньою врожайністю 10–20 г/м<sup>2</sup> сухої речовини на добу можна отримувати близько 0,1 млн т сухої біомаси на рік. Частина радіонуклідів скидних вод АЕС ( 10 Co, 134Cs, 137Cr, 90Sr тощо) може бути сконцентрована в біомасі спіруліни. Під час виділення метану радіоактивні речовини, накопичені водоростями, залишаються у відходах метантенків і виключаються з біологічних циклів. Відходи метантенків можуть бути спрямовані на поховання або використання для отримання ізотопів і мікроелементів. Таким чином можливо комплексно вирішувати природоохоронні питання і проблему підвищення ефективності АЕС.

Пропонована система культивування мікродоростей може бути інтегрована в енергобіологічні комплекси, що вже працюють на енергетичному потенціалі скидних теплих вод. Такий комплекс було створено на початку 1990-х рр. на Курській АЕС ВНДІ «Атоменергопроект». До системи входили блоки відкритого ґрунту, що обігрівався, рибогосподарський, тепличний, біологічної меліорації водоймища-охолоджувача і блок метаногенеза, що працює на відходах цього комплексного виробництва. Така система може забезпечувати подібний енергобіологічний комплекс кормовими добавками (як для рибогосподарського блоку, так і сільськогосподарських тварин), давати біомасу для виробництва біологічно активних добавок до їжі і переробки в блоці метаногенезу, забезпечувати додаткову кількість добрив і біостимуляторів для рослин у вигляді шламу.

Серед методів біологічної конверсії біомаси представляють інтерес проекти отримання водню методом біофотолізу за допомогою пурпурних фотосинтезувальних бактерій з органічних речовин або відновлених неорганічних з'єднань сірки, а також за допомогою азотфіксуючих ціанобактерій безпосередньо з води. Проте практичне застосування ензиматичного способу отримання фотоводороду – перспектива вельми віддаленого майбутнього.

Біомаса може бути використана для отримання енергії прямим спалюванням, можлива термохімічна газифікація з отриманням синтетичного газу або рідкого палива. Але найбільш реальним і економічним процесом є біоконверсія за допомогою мікроорганізмів. Мікробіологічне отримання палива – це анаеробний процес, біохімічна суть якого полягає в скиданні електронів на відмінні від кисню акцептори з утворенням відновлених

речовин: спиртів, кетону, органічних кислот, сірководню, водню, метану. Шляхом мікробіологічної переробки рослинної сировини можуть бути отримані й інші відновлені продукти, наприклад, бутан, ацетон тощо.

Особливий інтерес представляє отримання газоподібного палива – водню і особливо метану. Розрахунки показують, що ефективність запасів енергії у водні під час бродіння не перевищує 20...30%, тоді як у метан переходить понад 80% енергії, спочатку ув'язненої в початковій органіці. Практично будь-яка органічна сировина, за винятком лігніну і воску, може бути піддана метановому бродінню. Найбільш важливою сировиною для виробництва біогазу може служити так звана вторинна біомаса, що є відходами, які підлягають очищенню і знищенню. Це комунальні стоки міст, відходи мікробіологічної, харчової, м'ясо-молочної та інших галузей промисловості. Найперспективнішим напрямом такої переробки біомаси є анаеробне зброджування гною, в процесі якого 40...50% твердої речовини гною перетворюється на метан і вуглекислий газ. Відносна частка аміаку в загальній кількості азоту збільшується з 27 до 48%, а частка органічного азоту – з 4 до 5,1%. Це дозволяє рахувати метанове зброджування ефективним способом очищення стічних вод, що знижує забруднення навколишнього середовища з одночасним отриманням енергії і високоякісного, екологічно чистого добрива, до складу якого входять гумусоподібні органічні речовини, сприяючі поліпшенню структури ґрунту і підвищенню її родючості. Тому, розраховуючи економічний ефект біогазових установок, слід враховувати окрім паливної складової ще і природоохоронний ефект, а також ефект від використання забродженого шламу як товарного продукту для добрива або корму. Виробництво біогазу стає економічно виправданим, коли метантен працює на переробці існуючого потоку відходів або іншої біомаси. Прикладами подібних відходів можуть бути стоки каналізаційних систем, тваринницьких комплексів, боєнь і тому подібне. Економічність у цьому випадку пов'язана з тим, що немає необхідності в попередньому збиранні початкової сировини, організації і управлінні процесом його подачі. Таким чином, технологія, заснована на мікробіологічній переробці сільськогосподарських відходів в анаеробних умовах (метанове зброджування), дозволяє вирішувати проблеми екологічного, енергетичного і агрохімічного характеру і служить основою для створення в сільськогосподарському виробництві безвідходних екологічно чистих технологій.

Спеціальне вирощування біомаси у вигляді мікроскопічних водоростей з подальшим її переброджуванням у спирт або метан дозволяє створити штучний аналог процесу утворення органічних палив, що перевершує за швидкістю природні процеси в багато мільйонів разів. Співвідношення між величиною первинної біологічної продукції і речовиною, що збереглася в морських осіданнях, становить 1000:1. Створення спеціальних умов може у багато разів прискорити утворення палива. ККД фотосинтезу завдяки оптимізації живлення біогенними елементами, температури і перемішування



може бути збільшеним від 1 до 10%. У процес переробки біомаси в газ і нафту може бути включено всю речовину, а не 0,001 її частину, як відбувається в природі, тобто природний процес утворення вуглеводнів може бути значно інтенсифікований. З цієї точки зору великий інтерес становлять одноклітинні водорості ботріококкус, уміст вуглеводнів в яких досягає 80% від сухої маси. Вуглеводні локалізуються здебільшого на зовнішній поверхні кліток, отже, їх можна видаляти простим механічним способом або, наприклад, застосовуючи центрифуги, до того ж клітки при цьому не руйнуються і їх можна повертати назад до культиватора. Склад вуглеводнів, продукованих ботріококкусом, дозволяє використовувати їх як джерело енергії або сировину в нафтохімічній промисловості (безпосередньо або після неповного крекінгу). Після гідрокрекінгу на виході маємо 65% газоліну, 15% авіаційного палива, 3% залишкових масел.

### **6.6.3.1 Джерела утворення біомаси**

На земній кулі в результаті процесів фотосинтезу – наймогутнішого перетворювача сонячної енергії – за допомогою конверсії  $\text{CO}_2$  щорічно продукується понад 200 млрд. т біомаси (по сухій речовині), тобто в середньому за вмісту в біомасі близько 50% вуглецю в процесі фотосинтезу засвоюється до 300 млрд. т  $\text{CO}_2$ . Це вимагає витрати 3 ~  $10^{24}$  Дж сонячної енергії. Майже така сама кількість  $\text{CO}_2$ , виділяється в навколишнє середовище під час природного відмирання і розкладання органічної маси і лише дуже незначна частина трансформованих органічних речовин йде з природного коловороту вуглецю, накопичуючись на дні боліт (торф), озер (сапропель) або переноситься ґрунтовими і підземними водами в глибші шари Землі.

Цей баланс  $\text{CO}_2$  необхідно зберегти, щоб не підсилювати «парниковий ефект». Один з напрямів щодо його зменшення – розширення застосування нетрадиційних джерел енергії і палива, зокрема – біомаси. Часто до поняття біомаси відносять і органічну частину твердих міських відходів.

Деревина є відмінним паливом. Високий вихід летючих, мала зольність і відсутність сірки дозволяють забезпечити хороше згорання в простих пічних пристроях за вологості палива до 40...50%. І, оскільки для існування життя на Землі потрібна певна кількість рослинності, можливість використовувати ліс для опалювання буде завжди. За останній час використання соломи й інших рослинних залишків в енергетичних цілях сильно зростає.

Залишки цього виду складаються здебільшого з целюлози (вуглецевмісної) і можуть бути відносно легко підготовлені для виробництва з них енергії. Потенційні можливості виробництва енергії з рослинних залишків можна оцінити на основі деяких параметрів, найбільш важливими з яких є кількість і склад залишків, їх територіальне розміщення, сезонність збору урожаю.

Залежно від того, чи залишаються залишки після збору урожаю в ґрунті або збираються і вивозяться з поля разом з урожаєм, їх ділять на дві основні групи. До першої групи належить пшенична і кукурудзяна солома, а до другої – полова, рисове лушпиння, фруктова шкірка. Перша група у свою чергу підрозділяється на залишки, які залишаються на поверхні ґрунту і в ґрунті. Підгрупою другої групи є неїстівне коріння. Слід зазначити, що залишки другої групи становлять велику частину відходів що надходять на переробні підприємства.

Можливість використання рослинних залишків для виробництва енергії залежить від характеру переважаючої культури, якою засівають великі площі, і кількості залишків, які можуть бути зібрані з одиниці посівної площі. Польові культури дають більше рослинних залишків, ніж овочеві. У грубому наближенні кількість зібраних рослинних залишків для цієї сільськогосподарської культури можна визначити шляхом множення маси культури на характерну для неї частку залишку (або коефіцієнт), яка є відношенням сухої маси наземних залишків до маси зібраного з польовою вологістю урожаю. Нижче наводяться коефіцієнти для шести основних сільськогосподарських культур: соєві боби – 0,55...2,60; кукурудза – 0,55...1,20; бавовна – 1,20...3,0; пшениця – 0,47...1,75; цукровий буряк – 0,07...0,20 і цукрова тростина – 0,13...0,25. Чисельні значення коефіцієнтів залежать не тільки від виду культури, але і від умов її вирощування, способів збирання урожаю, а також від методів визначення коефіцієнта. Зазвичай, чим вище вихід продукції з одиниці площі, тим більше частка рослинних залишків.

Основними характеристиками рослинних залишків, які за своїм складом достатньо однорідні, є розмір частинок, щільність, зміст вологи і золи. Залишки зернових культур, за винятком рису, належать до відносно сухих культур: уміст вологи в них складає приблизно 15%. Теплота згорання рослинних залишків більшості цих культур коливається в межах 11 500...18 600 кДж.

Середнє значення теплоти згорання рослинних залишків прийняте рівним 16300 кДж/кг. На рівні з рослинними залишками як енергетичну біосировину використовують водорості і водні мікрофіти.

Велика кількість біомаси у вигляді бур'янів часто утворюється в міських і сільських місцевостях, де є стоки, багаті живильними речовинами.

Середня кількість біомаси, яку дають водорості, становить 15...25 г/м<sup>2</sup> сухої маси в добу, а максимальна швидкість її утворення – 30...40 г/м<sup>2</sup>. Саме тому водоростеві культури теж можуть стати ефективними джерелами енергетичної сировини.

Раціональне використання і видалення твердих міських відходів, особливо у великих містах з передмістями, є однією з важливих проблем, пов'язаних з охороною навколишнього середовища від забруднень. До таких відходів належать домашні відходи, відходи легкої промисловості і будівельне сміття.

Тільки у містах утворюється 400...450 млн. т твердих побутових відходів (ТПВ), причому на одного жителя доводиться 250...700 кг на рік. Кількість ТПВ щорічно збільшується на 3...6%, що істотно перевищує швидкість приросту населення Землі.

У Європейському Співтоваристві (ЄС) як типовий прийнято такий склад ТПВ, % сухої речовини: харчові відходи – 20...25, дворові відходи – 12...18, текстиль – 1...6, пластмаса – 3...8, деревина – 1...8, скло – 4...12, метали – 3...12, інші неорганічні відходи – 1...20.

Приблизно 80% відходів належать до горючих матеріалів, з яких 65,6% мають біологічне походження – папір, харчові і тваринні відходи.

Сучасними полігонами ТПВ є складні інженерні споруди, на яких проводиться сортування, а в окремих випадках і утилізація найбільш цінних вторинних ресурсів, що містяться у відходах. До таких утилізованих ресурсів належить і біогаз, що утворюється у разі анаеробного розкладання органічних відходів. До складу біогазу, який належить до поновлюваних джерел енергії, входить 50...60% метану. Теплотворна здатність біогазу становить 20...25 МДж/м<sup>3</sup>, що робить його збір, транспортування і промислове застосування економічно доцільними.

Враховуючи, що з 1 га полігону протягом року можна зібрати близько 1 млн м<sup>3</sup> біогазу його виробництво в країні могло б скласти значну цифру – 15 млрд м<sup>3</sup> на рік. За загального обсягу споживання природного газу в 400...450 млрд м<sup>3</sup> на рік біогаз міг би бути джерелом економії природних ресурсів і, що найважливіше, – поновлюваним джерелом енергії.

Потенційними джерелами енергії можуть бути тільки залишки органічного характеру, тому з погляду можливого використання промислових відходів для отримання енергії найбільший інтерес представляють відходи харчової промисловості. Під час виробництва різних харчових продуктів утворюються різні відходи. Так, наприклад, у відходах фруктів міститься значна кількість цукру і пектину, у відходах продовольчого зерна – крохмаль і целюлоза. Особливу увагу слід приділити такому важливому джерелу енергетично використовуваної біомаси, як лігнін, що є відходом гідролізного виробництва. За масою він становить 1/3 деревини, що переробляється, і на більшості гідролізних заводів цілком або частково вивозиться у відвали, забруднюючи великі території.

У зв'язку з тим, що продукти харчової промисловості транспортують і вантажать здебільшого з великим змістом вологи, значна частина твердих компонентів суміші знаходиться в розчиненому і зваженому стані. Тому для характеристики фактичного стану харчових відходів найбільш відповідним терміном є суспензія. Наявність великої кількості вологи у відходах харчової промисловості істотно обмежує можливість отримання з них теплової енергії шляхом прямого спалювання відходів. Велика увага приділяється енергетичному потенціалу відходів цукрової тростини, що виникають під час витягування цукрів, які становлять приблизно 30% мас самої цукрової тростини.

#### 6.6.4 Відходи тваринництва та птахівництва

Велике різноманіття технологій утримання тварин, способів збирання гною з тваринницьких приміщень, типів і потужностей тваринницьких ферм і комплексів, кліматичних умов призводять до отримання різного виду гною. Загалом гній сільськогосподарських тварин поділяють на підстилковий (гній з підстилкою і кормовими залишками) і безпідстилковий (гній без підстилки з добавкою води або без неї). Види безпідстилкового гною: напіврідкий, рідкий і гнойові стоки. Основну масу органічних відходів птахівництва отримують у вигляді рідкого посліду або пометних стоків.

Безпідстилковий гній – це суміш калу і сечі тварин з домішками води і залишків корму. Залежно від вмісту в цій суміші води розрізняють напіврідкий гній (вологістю до 90%), рідкий гній – суміш екскрементів з водою (вологістю 90...95%) і гнойові стоки – суміш екскрементів значно розбавлені водою (вологістю понад 93%).

Підстилковий гній є основним органічним добривом. Це – суміш твердих і рідких виділень сільськогосподарських тварин з солом'яною, торф'яною та іншою підстилкою. Кількість і співвідношення твердих і рідких виділень суттєво відрізняються залежно від видів тварин. Наприклад, велика рогата худоба, коні і вівці виділяють калу більше, ніж сечі, а свині – навпаки.

Технологія виробництва молока і м'яса, яка діє сьогодні на тваринницьких комплексах промислового типу і характеризується високою концентрацією поголів'я худоби на фермах, безпідстилковим утриманням тварин, механізацією процесів видалення гною з тваринницьких приміщень, сприяла утворенню якісно нового складу стічних вод. Стоки тваринницьких комплексів складаються із суміші природних випорожнень тварин, залишків кормів і води. Кількісна і якісна характеристика стоків залежить від ваги, вигляду і поголів'я тварин, способу утримання системи видалення гною, що діє, з виробничих приміщень, виду кормів й інших чинників.

До складу екскрементів великої рогатої худоби, свиней, курей входить (у % до сухої речовини): органічні речовини – 77...88; жир – 8,4...5,0; сирий протеїн – 9,3...42,1; лігнін – 9,6...30,0; азот – 8,3...10,3; фосфат – 0,2...8,7; калій – 1,0...3,1.

Розрахункова середньодобова кількість і вологість екскрементів (гною) від однієї тварини різних статевовікових груп при годівлі свиней концентрованими кормами на свинарських підприємствах наведено в табл. 6.20, на підприємствах великої рогатої худоби – в табл. 6.21

**Таблиця 6.20 – Розрахункова середньодобова кількість і вологість екскрементів від однієї тварини на свинарських підприємствах**

Статевовікові групи тварин	Показники	Склад екскрементів		
		всього	в тому числі	
			кал	сеча
Кнури	Маса, кг	11,1	3,86	7,24
	Вологість, %	89,4	75	97
Свиноматки	Маса, кг	10	2,6	7,4
	Вологість, %	91	73,1	98,3
Поросята (вік, дні)				
26 – 42	Маса, кг	0,4	0,1	0,3
	Вологість, %	90	70	96,7
43 – 60	Маса, кг	0,7	0,3	0,4
	Вологість, %	86	71	96,3
61 – 106	Маса, кг	2,4	0,9	1,5
	Вологість, %	86	71,4	96,3
Свині (маса, кг)				
до 70	Маса, кг	5	2,05	2,95
	Вологість, %	87	73	96,7
більше 70	Маса, кг	6,5	2,7	3,8
	Вологість, %	87,5	74,7	96,9

При цьому, загальну зольність екскрементів слід приймати 15%, щільність сухої речовини екскрементів – 1400 кг/м<sup>3</sup>, вміст сечі, отриманої на підприємствах, слід приймати в 65% від загальної маси екскрементів, вміст сухої речовини в сечі – 17% від загальної маси сухої речовини в екскрементах.

Щільність сухої речовини екскрементів слід приймати 1250 кг/м<sup>3</sup>, зольність сухої речовини – 16%, кількість і вологість підстилкового гною великої рогатої худоби визначається розрахунковим шляхом з умов утримання тварин.

Хімічний склад стічних вод тваринницьких комплексів залежить від поголів'я, але із збільшенням тварин не завжди збільшується вміст забруднювальних речовин. Це пов'язано з різним ступенем розведення стоків свіжою водою, яка використовується на технологічні потреби. За концентрацією органічних і мінеральних речовин стоки тваринницьких комплексів у багато разів перевищують як господарські побутові, так і промислові, а тому є більш значущими забрудненнями навколишнього середовища. Сечовина, яка знаходиться в стоках, зумовлює присутність в них з'єднань, які містять азот, таких як сечовина і сечова кислота. Із зольних елементів з сечею надходить значна кількість калію. З'єднання фосфору і білкового азоту надходять до стоків з твердими фекальними масами.

**Таблиця 6.21 – Розрахункова середньодобова кількість і вологість екскрементів від однієї тварини на підприємствах великої рогатої худоби**

Статевовікові групи тварин	Показники	Склад екскрементів		
		всього	в тому числі	
			кал	сеча
Бики	Маса, кг	40	30	10
	Вологість, %	86	83	95
Корови	Маса, кг	55	35	20
	Вологість, %	88,4	85,2	94,1
Телята				
до 3-х місяців	Маса, кг	4,5	1	3,5
	Вологість, %	91,8	80	95,1
до 6-и місяців	Маса, кг	7,5	5	2,5
	Вологість, %	87,4	83	96,2
на відгодовуванні до 4-х місяців	Маса, кг	7,5	5	2,5
	Вологість, %	87,4	83	96,2
на відгодовуванні з 4-х до 6-и місяців	Маса, кг	14	10	4
	Вологість, %	87,2	83,5	96,5
Молодняк				
6 – 12 місяців	Маса, кг	14	10	4
	Вологість, %	87,2	83,5	96,5
12 – 18 місяців	Маса, кг	27	20	7
	Вологість, %	86,7	83,5	96
на відгодовуванні 6 – 12 місяців	Маса, кг	26	14	12
	Вологість, %	86,2	79,5	94,1
на відгодовуванні більше 12 місяців	Маса, кг	35	23	12
	Вологість, %	84,9	80,1	94,2

Склад гнойових стоків складно характеризувати середніми показниками, тому що він змінюється в широких межах (табл. 6.22).

**Таблиця 6.22 – Фізико-хімічний склад стічних вод тваринницьких комплексів**

Показник	Нормоване значення	Дійсне значення (за даними І.Ф. Ярмолік)
pH	6,0 – 7,0	7,7 – 8,1
Сухий залишок, мг/л	3700 – 5000	10500 – 1350
Залежні речовини, мг/л	1232 – 8600	5000 – 12000
БСК, мг/л	1800 – 9200	3000 – 20000
ХСК, мг/л	5892 – 11696	4000 – 24000
Загальний азот, мг/л	1300 – 3884	1143
Азот амонію, мг/л	1400 – 2690	400 – 500
Сечовина, мг/л	–	–
Фосфати, мг/л	155	2500
Хлориди, мг/л	122 – 930	150
Карбонати, мг/л	–	–

Показник забруднення (біохімічне поглинання кисню, хімічне поглинання кисню, сухий залишок тощо) значно високі для гною, неподіленого на тверду і рідку фракції; тверда фракція характеризується низькими показниками забруднення. Також тваринні стічні води характеризуються високим бактеріологічним забрудненням.

У стоках тваринницьких комплексів вміщується багато не використаних живильних речовин і мікробної біомаси, тому що з організму виділяється 20% не перероблених живильних речовин. Бактерійна біомаса, яка утворюється в процесі розщеплювання кормів, вміщує 50...60% протеїну. Все це виділяється з організму і накопичується в гної.

У разі низької технологічної дисципліни в гній потрапляють сторонні домішки, зокрема шматки бетону, металу, дерево і пластмаси, а також речі, які потрапили в гній під час ветеринарної обробки тварин. Рідкі і напіврідкі відходи тваринництва є полідисперсною системою. Тверді частини різних розмірів знаходяться у вигляді суспензії і частково в колоїдному стані. Всі розчинні солі і низькомолекулярні органічні сполуки знаходяться в молекулярно-дисперсному стані.

Розрахункова кількість гнойових стоків, що утворюються від однієї голови на доїльних майданчиках, становить 20 л на добу, вміст екскрементів – 2...3% від їх середньодобового виходу.

Кількість посліду, що виділяється птахами за добу (залежно від виду та віку), слід приймати заданими табл. 6.23.

Усушка посліду дорослих курей, індиків і молодняка старше 60 днів при клітковому утриманні становить через 12 год – 13%; через 24 год – 27%. Усушка посліду молодняка курей та індиків у віці 1...60 днів становить через 12 год – 16%; через 24 год – 33%. Усушка посліду курей та індиків становить 50 %; качок – 35%. Об'ємна маса посліду становить 0,7...0,8 т/м<sup>3</sup>, зольність – 17,3 %, вологість – 55...60%.

### **6.6.5 Відходи рослинництва**

Рослинництво – провідна галузь сільськогосподарського виробництва, де вирощуються зернові, технічні, кормові, овочеві, баштанні культури, картопля, фрукти, ягоди, виноград та ін.

Найважливішим засобом і базою розвитку рослинництва і всього сільськогосподарства є земля. Земельний фонд України (всі землі в межах країни незалежно від їх цільового призначення і господарського використання) становить 60,4 млн. гектара. З них на сільськогосподарські угіддя припадає 42 млн. гектарів, або 70% усієї площі земельного фонду. Під ріллею перебуває 33,1 млн. гектара, під пасовищами – 5,5 млн. гектара, під сіножатями – 2,3 млн. гектара.

Таблиця 6.23 – Кількість і вологість посліду

Види, вікові категорії птиці	Вихід посліду з розрахунку на одну голову на добу, г	Розрахункова вологість посліду, %	Об'ємна маса посліду, т/м <sup>3</sup>
<b>Кури:</b>			
яєчні батьківського стада	189	71 – 73	0,6 – 0,7
яєчні промислового стада	175	71 – 73	0,6 – 0,7
м'ясні батьківського стада	276 – 300	71 – 73	0,6 – 0,7
Індики	450	64 – 66	0,6 – 0,7
Качки	423	80 – 82	0,7 – 0,8
Гуси	594	80 – 82	0,7 – 0,8
<b>Кури яєчні (вік, неділі)</b>			
1...4	24	66 – 74	0,6 – 0,7
5...9	97	66 – 74	0,6 – 0,7
10...12	176	66 – 74	0,6 – 0,7
<b>Кури м'ясні (вік, неділі)</b>			
1...8	140	66 – 74	0,6 – 0,7
9...18	184	66 – 74	0,6 – 0,7
19...26	288	66 – 74	0,6 – 0,7
<b>Індики (вік, неділі)</b>			
1...17	378	70 – 72	0,6 – 0,7
18...33	480	70 – 72	0,6 – 0,7
<b>Гуси (вік, неділі)</b>			
1...3	330	76 – 78	0,7 – 0,8
4...9	480	76 – 78	0,7 – 0,8
10...30	195	76 – 78	0,7 – 0,8
31...34	495	76 – 78	0,7 – 0,8
<b>Качки (вік, неділі)</b>			
1...7	230	76 – 78	0,7 – 0,8
8...21	210	76 – 78	0,7 – 0,8
22...26	234	76 – 78	0,7 – 0,8

Висока врожайність значною мірою залежить від організації агрохімічної служби. Сільське господарство України має значний агрохімічний потенціал. Ефективне використання цього потенціалу, обґрунтований розподіл добрив серед регіонів, раціональна структура та своєчасне внесення їх в ґрунт є дійовими чинниками прискорення розвитку землеробства. При нераціональному використанні мінеральних добрив часто погіршується якість сільськогосподарської продукції.

За останні роки у структурі посівних площ України відбулися незначні зміни. Вони виражені передусім у підвищенні частки зернових і зниженні частки кормових культур. Дещо знизилася частка посівів технічних культур.

Провідне місце в структурі посівів (до 50%) займають зернові культури. Їх площа становить близько 15,0 млн. гектара. За рівнем виробництва зерна Україна посідає одне з провідних місць у світі. Перше місце серед технічних культур належить соняшнику, який займає близько



двох третин всієї площі технічних культур (2,1 млн. га). Важливе місце з-поміж технічних культур також займають цукрові буряки, що використовуються для виробництва цукру, площа їх посіву становить близько 1,1 млн. гектара.

В Україні на невеликих площах висівають коноплі. У південних районах України вирощують рицину, олія якої широко використовується в авіаційній, парфумерній, медичній, шкіряній та інших галузях.

Південь – головний район посівів сої, яка переважно культивується на зрошуваних землях. Також в Україні вирощують і заготовляють багато лікарських рослин (близько 100). Культивують валеріану лікарську, кмин, хрін, шавлію лікарську, лаванду, м'яту перцеву, фенхель, беладонну лікарську тощо.

Для потреб пивоварної, дріжджової та хлібопекарської промисловості вирощують хміль.

Важливою галуззю рослинництва є садівництво і виноградарство. Головними районами поширення плодючих насаджень (зерняткових, кісточкових і горіхоплідних) є приміські зони великих міст. Найбільші масиви садів зосереджені в лісостеповій і степовій зонах (близько 40% усіх площ).

Загальновідомо, що Україна належить до держав з розвинутим землеробством. На неї припадає 4% світового збору пшениці, 9% – ячменю, 6% – картоплі, 11% – цукрових буряків, понад 4% – вівса. Україна має всі можливості для збільшення збору сільськогосподарських культур за рахунок підвищення врожайності, яка є ще дуже низькою.

Але попри все вищезазначене, рослинництво характеризується великим об'ємом відходів та вторинної сировини (біомаси), які повноцінно не використовуються і які можуть бути чинниками забруднення навколишнього середовища.

Для досягнення цілей, поставлених Україною в сфері ресурсо- та енергоощадження, необхідна достовірна інформація про енергетичний потенціал біомаси. Однак результати існуючих оцінок ресурсів біомаси для однієї й тієї ж географічної місцевості суттєво різняться між собою. Найістотною причиною відмінності результатів є різноманітність підходів до вибору загальної методології оцінки, вихідних даних, методів визначення потенціалу земель, доступних для вирощування енергетичних культур, коефіцієнтів та припущень щодо виробництва й утилізації біомаси. Крім того, існуючі оцінки ресурсів біомаси досить часто суттєво відрізняються одна від одної за глибиною та часовим діапазоном аналізу, а також за типами потенціалу.

Розрізняють три основні види потенціалу біомаси – теоретично можливий (теоретичний), технічно доступний (технічний) та економічно доцільний (економічний).

*Теоретичний потенціал* – загальний максимальний обсяг наземної біомаси, теоретично доступної для виробництва енергії у фундаментальних

біофізичних межах. Коли мова йде про біомасу сільськогосподарських та енергетичних культур та лісів, теоретичний потенціал представляє собою максимальну продуктивність при теоретично оптимальному менеджменті з урахуванням обмежень, що впливають з температури, сонячної радіації та опадів. У випадку відходів та залишків різного виду теоретичний потенціал дорівнює максимально утвореному обсягу цих відходів та залишків.

*Технічний потенціал* – частка теоретичного потенціалу, доступна за певних технічно-структурних умов та поточних технологічних можливостей. Крім того, беруться до уваги просторові обмеження, викликані конкуренцією між різними користувачами землі, а також деякі екологічні та інші нетехнічні обмеження.

*Економічний потенціал* – частка технічного потенціалу, що задовольняє критеріям економічної доцільності за даних умов.

Європейські експерти з питань біоенергетики виділяють два основні підходи до оцінки потенціалу біомаси: ресурсно-орієнтований та орієнтований на енергетичні потреби. У першому випадку досліджується ресурсна база та питання конкурентного використання біомаси різними кінцевими споживачами, тобто енергетичне та неенергетичне використання. У другому випадку оцінюється конкурентоспроможність різних технологій виробництва енергії з біомаси порівняно з іншими видами ВДЕ та традиційними паливами з точки зору найбільш ефективного задоволення енергетичних потреб.

Використання створеної на даний час інформаційно-аналітичної системи оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України дозволяє проводити щорічне відслідковування та уточнення кількісних параметрів енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії по всій території України, отримуючи результати у вигляді картографічної інформації з візуалізацією результатів у вигляді картографічної та атрибутивної бази даних. Відслідковування і аналіз поточної та багаторічної інформації має за мету також видачу рекомендацій для застосування як вже освоєних, так і нових відновлюваних рослинних джерел енергії по всій території України.

До відходів рослинництва відносяться рослинні компоненти сільськогосподарських культур: стебла зернових та технічних культур, корзинки й стебла соняшнику, відходи льону, стрижні кукурудзяних качанів, бадилля картоплі і бобових культур, відходи сінажу тасилосу, солома, пожнивні залишки тощо.

Відходи рослинництва (біосировини) класифікують:

- За джерелами утворення – відходи рослинного походження;
- За агрегатним станом – є твердими відходами;
- За технологічною стадією отримання – одержувані при первинній переробці сировини;
- За матеріаломісткістю – є багатотоннажних сировиною;
- За ступенем використання – повне використання;

- За ступенем впливу на навколишнє середовище – є безпечними;
- За напрямками подальшого використання – використовуються на кормові, харчові технічні та енергетичні цілі.

Так, при заготівлі лісу та подальшій його переробці з відходами втрачається близько 50% деревини. Ця біомаса у вигляді тирси, листя, гілок вивозиться на полігони, де гниє чи спалюється на місці, таким чином погіршуючи екологічний стан довкілля. У сільськогосподарському виробництві основними залишками біомаси є солома та сіно. Для рослинних залишків характерною є особливість сезонної відтворюваності. Пік використання їх припадає на другу половину літа та осінь. Можливість використання рослинних залишків для виробництва енергії залежить від характеру переважної культури, якою засівають більші площі, і від кількості залишків, які можуть бути зібрані з одиниці посівної площі. Польові культури дають більше рослинних залишків, ніж овочеві. У грубому наближенні кількість рослинних залишків, що збирають, для даної сільськогосподарської культури можна визначити шляхом множення маси даної культури на характерну для неї частку залишку, що є відношенням сухої маси наземних залишків до маси зібраного з польовою вологістю врожаю. Ці коефіцієнти для основних сільськогосподарських культур становлять: пшениця – 0,47...1,75; кукурудза – 0,55...1,20; бавовна – 1,20...3,0; цукровий буряк – 0,07...0,20. Значення коефіцієнтів залежать не тільки від виду культури, а й від умов її вирощування, способів збору, а також від методів визначення коефіцієнта.

Видову характеристику відходів (в т.ч. рослинного походження), які ще називають біоенергетичними, представлено в табл. 6.24.

*Таблиця 6.24 – Види біоенергетичних ресурсів*

<b>Відходи</b>	<b>Енергетичні культури</b>
тверді побутові відходи	водорості
осад станції очищення комунальних стічних вод	сільськогосподарські культури для виробництва біопалива
відходи тваринництва	швидкоростучі деревні насадження
відходи рослинництва	
органічні відходи промисловості	
відходи деревини	

Фізико-хімічні та енергетичні властивості деяких видів біосировини представлено в табл. 6.25.

За статистичними даними відомо, що найбільшим потенціалом біомаси володіють Одеська (0,64 Мтне), Дніпропетровська (0,56 Мтне), Полтавська (0,51 Мтне), Кіровоградська (0,49 Мтне), Запорізька (0,44 Мтне), Донецька (0,43 Мтне), Харківська (0,41 Мтне) області. Ці області покривають 47,8% загальних ресурсів біомаси.

Таблиця 6.25 – Основні параметри різних видів біосировини

Параметр	Тріска лісосічних відходів	Тріска цілого дерева	Тирса	Стружка	Вторинна деревна тріска	Солома
Вологовміст, %	50 – 60	45 – 55	50 – 55	5 – 15	15 – 35	17 – 25
Ефективна теплотворна здатність сухої речовини, МДж/кг	18,5 – 20	18,5 – 20	18,9 – 19,2	18,9	18 – 21	17,9 – 18,7
Ефективна теплотворна здатність отриманого продукту, МДж/кг	6 – 9	7 – 10			12 – 16	12,4 – 14,0
Насипна щільність отриманого продукту, кг/м <sup>3</sup> насипного об'єму	250 – 300	250 – 350	250 – 300	80 – 120	150 – 250	80
Ефективна теплотворна здатність отриманого продукту, МВт·год/ м <sup>3</sup> насипного об'єму	0,7 – 0,9	0,5 – 0,8	0,4 – 0,7	0,5	0,6 – 0,8	0,3 – 0,4
Зольність сухої речовини, %	1 – 3	1 – 2	0,4 – 1,1	0,4	0,4 – 1	5

Також великі ресурси біомаси є у Миколаївській (0,40 Мтне), Київській (0,38 Мтне), Херсонській (0,32 Мтне), Чернігівській (0,31 Мтне) та Вінницькій (0,29 Мтне) областях. Ці області складають 23,4% загального потенціалу біомаси.

Великим є потенціал відходів деревини (лісова, деревообробна промисловість) у Житомирській (0,12 Мтне), Закарпатській (0,09 Мтне), Київській (0,073 Мтне), Львівській (0,062 Мтне), Харківській (0,058 Мтне) та Сумській (0,048 Мтне) областях. Ці області складають 46,7% загального потенціалу біомаси в Україні. Вони розташовані переважно у західній і північній Україні, де є ліси і підприємства лісової промисловості. Частка деревини від загального потенціалу біомаси в цих областях дорівнює від 58,7 до 14,3%. Загальний потенціал біомаси в Україні наведено в табл. 6.26.

Аналіз результатів показує, що основними складовими потенціалу є первинні сільськогосподарські відходи (солома зернових культур та ріпаку, доходи виробництва кукурудзи на зерно та соняшника) і енергетичні культури. Відходи сільськогосподарського виробництва є реальною складовою потенціалу, яка вже зараз використовується для виробництва енергії. Енергетичні культури поки є віртуальною складовою, оскільки наразі в Україні практично немає енергетичних плантацій за виключенням декількох експериментальних ділянок. Але з огляду на досвід Європейських країн можна очікувати стрімкий розвиток цього сектору вже найближчими роками.

Таблиця 6.26 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн. т у.п.		
	Теоретичний	Технічний	Економічний
Солома зернових культур	30,6	30	4,54
Солома ріпаку	4,2	40	0,84
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	40,2	40	4,39
Відходи виробництва соняшнику (стебла, кошики)	21,0	40	1,72
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	6,9	75	1,13
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	4,2	90	1,77
Енергетичні культури:			
верба, тополя, міскантус (з 1 млн. га)	11,5	90*	6,28
Всього	–	–	21,07

Зауважимо, що вся біомаса складає 21,07 млн. т. у.п., що в перерахунку на природний газ еквівалентно 18,16 млрд. м<sup>3</sup>.

Наразі з наявного потенціалу біомаси для виробництва енергії в Україні найбільш активно використовується деревина та лушпиння соняшника. З наведених у табл. 6.30 даних видно, що використання потенціалу деревної біомаси сягає 80%, а лушпиння – 59%. При цьому потенціал загальнодоступної соломи використовується лише на 1%.

Таблиця 6.27 – Використання біомаси для виробництва енергії в Україні, 2011 – 2012 роки

Вид біомаси	Річний обсяг споживання**		Частка від загального обсягу річного споживання біомаси, %	Частка від економічно доцільного потенціалу, %
	Натуральні одиниці	Тис тонн умовного палива		
Солома зернових та ріпаку	77 тис. т	37	1,6	1
Дрова, населення	2 млн. м <sup>3</sup>	478	21,4	80
Дрова, крім населення	4 млн. т	1 330	59,5	
Лушпиння соняшника	665 тис. т	318	14,2	59
Біогаз з аграрних відходів	10 млн. м <sup>3</sup>	7	0,3	2
Біогаз з полігонів ТПВ	26 млн. м <sup>3</sup>	18	0,8	7
Усього		2 236	100	

Нижче детально розглянемо характеристику деяких видів рослинних відходів у сільському господарстві та агропромисловому комплексі в цілому.

**Солома** є одним з основних джерел біопалива в Україні. Середня кількість соломи злакових культур в Україні становить 40,31 млн. т. За

використання 20% загального збору соломи для енергетичних цілей може бути заміщено 4,3 млн. т у. п./рік (близько 2% від загального споживання первинних енергоносіїв в Україні).

Енергетичний потенціал соломи різних видів наведено в табл. 6.28.

**Таблиця 6.28 – Енергетичний потенціал сільськогосподарських відходів (соломи) в Україні**

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн. т у.п.		
	Теоретичний	Технічний	Економічний
Солома пшениці	7,14	3,60	0,93 (2,55)*
Солома ячменю	2,45	1,21	0,31 (0,98)
Солома інших зернових	0,80	0,40	0,10 (0,26)
Солома ріпаку	1,07	0,75	0,75 (2,06)

З однією тонною соломи в ґрунт повертається 4,2 кг азоту, 1,7 кг фосфору, 8,3 кг калію, 4,2 кг кальцію, 0,7 кг магнію, і ряд мікроелементів, які більше накопичуються в соломі, ніж в зерні. Недопустимим є спалювання соломи на полях, що часто має місце в багатьох господарствах. Це приводить до втрати азоту і органічної речовини і знищенню ґрунтової фауни. Нормальне біологічне функціонування ґрунту в цьому випадку відновлюється тільки через 2–3 місяці.

Розрахунок кількості паливної соломи показує, що мінімум 5 мільйонів тонн цієї сировини, що залишається тільки після збору злакових культур, може бути використано в Україні для виробництва енергії. Повна утилізація цих об'ємів могла б сприяти економії в загальнодержавному масштабі до трьох млрд. куб. природного газу. Ефект від використання альтернативного палива із соломи наступний: створення екологічно чистого, безвідходного виробництва; зниження собівартості продукції; економічно ефективно використання рослинних відходів; економія бюджетних коштів, що виділяються на закупку палива для муніципальних котелень; розвиток малого бізнесу; створення нових робочих місць в селах; продукт горіння (CO<sub>2</sub>) нейтральний – таким чином вміст CO<sub>2</sub> в атмосфері не збільшується, а отже й парниковий ефект не посилюється. Нижче для порівняння в табл. 6.29 наведено енергетичні дані соломи в порівнянні з відповідними показниками іншої біосировини.

Зараз для виробництва енергії використовується солома в обсязі еквівалентному 2 ГВт год/рік. Прогноз розвитку біоенергетики показує, що споживання соломи та стебел для виробництва енергії в 2030 р. буде еквівалентним 23 ГВт год/рік, можна припустити, що в 2050-му році цей показник зросте до 50 ГВт год/рік, що потребуватиме використання до 60% технічно доступних ресурсів.

**Таблиця 6.29 – Енергетичні дані соломи ячменю в порівнянні з іншими паливними матеріалами**

Показник	Золотиста солома	Сіра солома	Тирса
Вміст вологи, %	10 – 20	10 – 20	40
Летюча складова, %	70	70	70
Попіл, %	4	3	0,6 – 1,5
Вуглець, %	42	43	50
Водень, %	5	5,2	6
Кисень, %	37	38	43
Хлорид, %	0,75	0,2	0,02
Азот, %	0,35	0,41	0,3
Сірка, %	0,16	0,13	0,05
Тепловіддача, ефективна, МДж/кг	14,4	15	10,4
Температура розм'якшення золи, °С	800 – 1000	950 – 1100	1000 – 1400

Теплова енергія 1 кг соломи з вологістю 15% становить біля 14,3 МДж, що відповідає запасам теплової енергії 0,81 кг деревини для опалення, 0,75 грубого вугілля або 0,41 м<sup>3</sup> природного газу.

Спалюванню соломи передують збирання, при необхідності, висушування та зберігання сировини. Важливою характеристикою даної біомаси є її щільність. Звичайно, сухі біологічні матеріали мають щільність у 3–4 рази нижчу, ніж вугілля. Важливим чинником якості твердого біопалива є технологія приготування біомаси до спалювання. (табл. 6.30).

**Таблиця 6.30 – Характеристика енергомідкості соломи в залежності від технологій її приготування до спалювання**

Солома як біопаливо	Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	Питома енергомідкість, МВт/м <sup>3</sup>
насипна	20 – 50	20 – 50	0,7 – 0,16
подрібнена (січка)	40 – 60	16 – 25	0,13 – 0,19
прямокутні тюки	70 – 130	7,7 – 14	0,23 – 0,43
круглі тюки	60 – 90	11 – 16	0,19 – 0,29
в'язанки	50 – 110	9 – 20	0,16 – 0,36
брикети, гранули	300 – 450	2,2 – 3,3	0,99 – 1,48

У табл. 6.31 представлено розрахункові показники економічної ефективності використання соломи в якості палива у розсипному вигляді, ущільненої у рулони або пресованої у брикети.

**Таблиця 6.31 – Показники економічної ефективності використання соломи як альтернативного джерела палива**

Тип обробки соломи	Витрати на заготівлю, грн/т	Витрати на спалювання, грн/т	Собівартість транспортування автотранспортом на 10 км грн/т	Середня собівартість виробництва тепла грн/ГДж	Економічна ефективність виробництва тепла із соломи у порівнянні з газовим опаленням, грн	
					на 1 т соломи	на 1 ГДж
Подрібнення	108	407	72	43	600	50
Ущільнення у рулони	112	415	68	47	526	47
Брикетування	467	382	22	72	451	38

*Переваги використання соломи для енергетичних цілей:* зменшення викидів CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>; зменшення кількості спалюваної на полях соломи – уникнення деградації навколишнього середовища; високий рівень ККД обладнання; збільшення періоду між чистками котла (наприклад, котел 1 МВт вимагає очистки раз на тиждень); робочий режим котла від 20% до 100% від номінальної потужності; значне зменшення коштів на вироблення 1 ГДж теплової енергії; використання місцевого відновлюваного джерела енергії; підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції; створення додаткових робочих місць для місцевого населення при доставці палива; підвищення енергетичної безпеки; приток на місцевий ринок грошей за виробництво «зеленої енергії».

*Недоліки:* низька теплотворна здатність – близько 15 ГДж/т; значна залежність теплотворної здатності від вологості соломи; великі витрати на отримання, переробку, транспортування та зберігання; недостатня кількість печей для спалювання соломи; недостатня кількість агрегатів для пелетування; недостатньо розвинений та насичений ринок біопалива не дає гарантій на забезпечення великих теплоелектроцентралей достатньою кількістю соломи; існуючі законодавчі акти не передбачають фінансових преференцій за тепло, отримане з соломи в теплових установках малої потужності; під час спалювання виділяються сполуки хлору, калію, які спричиняють корозію, а також велика кількість лужних металів, що призводять до виникнення шлаків.

*Лушпиння.* Кількість лушпиння при промисловій переробці насінневих культур становить значну частину – 17...20% до маси насіння. Лушпиння різних гібридів і сортів складає в середньому: жиру 3%, білка 3,4%, безазотистих екстрактивних речовин 29,7%, клітковина 61,1%, зола 2,83%.

На жаль, в даний час залишаються невирішеними проблеми, пов'язані з раціональним використанням лушпиння. Відсутність галузевого



нормативного документу, який би передбачав використання лушпиння в якості палива гальмує розвиток промисловості.

Згідно літературних джерел можна виділити такі шляхи використання лушпиння: спалювання; виробництво гранул/брикетів; вивіз на звалища; інше (традиційне використання лушпиння в якості кормової добавки в тваринництві і птахівництві; застосування лушпиння в будівництві; при вирощуванні грибів; в якості добрива і покращення властивостей ґрунту; в гідролізній промисловості та ін.)

У відсотковому співвідношенні шляхи використання соняшникового лушпиння представлені в табл. 6.32.

**Таблиця 6.32 – Шляхи використання соняшникового лушпиння в Україні**

<b>Шляхи утилізації</b>	<b>тис. т/рік</b>	<b>% від загального обсягу</b>
Спалювання	390	57,8
Виробництво гранул/брикетів	150	22,2
Вивіз на звалища	80	11,9
Інше	55	8,1

На сьогодні, більше половини річного обсягу утвореного лушпиння спалюється в котлах з метою виробництва теплової енергії, близько 22% використовується для виробництва гранул та брикетів, досить велика частка (до 80 тис т/рік) вивозиться на звалища, певна кількість продається сільськогосподарським підприємствам та населенню для господарських потреб.

Соняшникове лушпиння є пористим, волокнистим матеріалом з дуже розвинутою внутрішньою поверхнею (питома поверхня досягає 110...145 м<sup>2</sup>/г). При механічному подрібнюванні соняшникового лушпиння кількість голчастих фракцій розміром 300...500 мкм склала 90...95%, а при механічному перетиранні з ударною дією домінують сферичні фракції розміром 1...1300 мкм (80...87%). Фракції розміром 80, 100 і 200 мкм склали 86 %.

Аналіз хімічного складу показав, що мінеральних речовин (золи) у рисовому лушпинні міститься в 4,5 рази більше, ніж у соняшковому, і в 1,7 рази більше, ніж у гречаному. Целюлози у гречаному лушпинні значно більше (до 50%) , ніж у соняшковому і рисовому (табл. 6.33).

Найбільший приріст біомаси вермикультури спостерігався в субстраті з соняшникового лушпиння майже на 400%, а найкращий показник за репродукцією – на основі суміші соняшникового та гречаного лушпиння (на 80%).

Теплотворна здатність 1 т сухої речовини лушпиння еквівалентна 17,2 МДж. За цим показником лушпиння переважає дрова – (14,6...15,9) МДж/кг і буре вугілля – 12,5 МДж/кг. При спалюванні лушпиння кількість

вуглекислого газу, що виділяється не перевищує того, що утворюється при природному розкладанні деревини.

Таблиця 6.33 – Хімічний склад рослинних відходів, %

Лушпиння	Волога	Зола	ЛГП*	ВГП**	Смоли	Лігнін	Целюлоза	Пентозани
Соняшникове	7,7 – 9,3	3,7 – 4,5	18,0 – 19,43	28,7 – 29,9	5,9 – 6,3	28,5 – 29,5	22,5 – 23,1	19,5 – 21,0
Рисове	8,5 – 10,8	17,0 – 19,5	27,5 – 29,18	24,7 – 26,5	1,1 – 1,3	21,1 – 23,2	32,6 – 33,4	25,5 – 26,3
Гречане	11,2 – 13,2	10,1 – 12,3	22,5 – 23,4	21,7 – 22,9	1,4 – 1,6	19,5 – 20,2	48,5 – 50,0	22,8 – 23,2

\* – полісахариди, що легко гідролізуються; \*\* – полісахариди, що важко гідролізуються

Так як лушпиння має дуже низьку насипну щільність ( $170\text{кг/м}^3$ ) та його транспортування на велику відстань є економічно недоцільним, тому надзвичайно актуальним і економічно вигідним, на сьогоднішній день, є виробництво гранул або брикетів, щільність яких складає  $1200\text{ кг/м}^3$ .

Якщо розглядати рисове лушпиння, то слід зазначити, що об'ємна маса рисового лушпиння становить  $0,96...0,16\text{ г/см}^3$ , теплотворна здатність –  $3300...3600\text{ ккал/кг}$ , температура горіння знаходиться в межах  $800...1000^\circ\text{C}$ , коефіцієнт теплопровідності –  $0,2517...0,3288$ . Загалом середньорічна частка використання рисового лушпиння від загального обсягу його виробництва розподілялась наступним чином:  $50,2\%$  відвантажено на гідролізні заводи для отримання фурфуролу та кормових дріжджів;  $16,9\%$  відправлено для виробництва кормових сумішей;  $4,8\%$  відпущено сільськогосподарським підприємствам для підстилання тваринам та  $28,1\%$  вивезено на сміттєзвалища. Хоча невикористану частку рисового лушпиння, зважаючи на його енергетичні властивості, цілком раціонально використовувати у біоенергетиці.

*Деревина.* Залежно від виробництва, при якому утворюються деревні відходи, їх можна поділити на два види: відходи лісозаготівель і відходи деревообробки.

*Відходи лісозаготівель* – це відокремлювані частини дерева в процесі лісозаготівельного виробництва. До них відносяться хвоя, листя, пагони, гілки, сучки, вершинки, козирки, вирізки стовбура, кора, відходи виробництва колотих балансів та ін.

*Відходи деревообробки* утворюються в деревообробному виробництві. До них відносяться: хвости обапунків і дощок; кускові відходи; фанерні і плиточні; всі види стружки; деревний пил і тирса; куски кори тощо.

Всі перераховані відходи також можна класифікувати: за породою деревини (хвойна, листяна); за вологістю (сухі – до 15%, напівсухі – 16...30%, вологі – 31% і вище, дуже вологі); за стадією обробки (первинні, вторинні); за подальшим використанням (ділові і неділові); за характером біомаси (відходи з елементів крони, стовбурної деревини та кори);

Залежно від форми і розміру часток деревні відходи поділяються на кускові і м'які (тирса, стружки).

Після переробки деревини утворюються відходи, що згідно з нормативами становлять: 12% від обсягу заготівельних робіт; 35% від обсягу лісопереробних робіт; 31% при виробництві віконних і дверних блоків, тари; 54% при виробництві меблів.

Деревних відходів, як сировини для подальшої переробки в Україні є вдосталь, переважна її більшість донедавна висипалася в яри, залишалася в лісах чи просто спалювалася, що погіршувало екологічну ситуацію довкілля в Україні. Загалом, за даними Державного агентства лісових ресурсів України, щорічно в українських лісах залишається близько 2 млн. куб. м відходів. Проте ситуація потрохи починає покращуватися. Зростає попит на вітчизняну паливну продукцію, відповідно, з'являються нові лінії з виробництва твердого біопалива, і ці відходи, які гнили в лісах, починають використовуватися.

Зокрема, тільки в 2010 р. виробництво твердого біопалива в порівнянні з 2009 р. зросло на 45...50% і склало близько 500 тис. т. 75...80% цих об'ємів – це тверде біопаливо з відходів деревообробної промисловості. Інші 20...25% – продукт, вироблений з відходів АПК (солома, лушпиння соняшника та ін.). Така пропорція пояснюється тим, що тверде біопаливо з відходів деревини має вищий показник теплотворності, ніж з відходів АПК (табл. 6.34).

Очевидно, що раціональна утилізація деревних відходів дасть можливість знизити шкоду навколишньому середовищу, стане надійним джерелом економії коштів, отримання додаткового прибутку за рахунок реалізації нових видів продукції. Великі обсяги переробленої деревини тягнуть за собою очевидну проблему утилізації відходів від цього виду промисловості.

Отже, деревина – найбільш ефективне джерело енергії (крім природного газу) для отримання тепла, одночасно вона є найбільш екологічно чистим продуктом для ТЕС. Загальний енергетичний потенціал деревини наведено в табл. 6.35.

Таблиця 6.34 – Основні параметри різних видів палива з біомаси

Параметр	Тріска лісосічних відходів	Тріска цілого дерева	Тирса	Стружка	Вторинна деревна тріска	Солома
Вологовміст, %	50 – 60	45 – 55	50 – 55	5 – 15	15 – 35	17 – 25
Ефективна теплотворна здатність сухої речовини, МДж/кг	18,5 – 20	18,5 – 20	18,9 – 19,2	18,9	18 – 21	17,9 – 18,7
Ефективна теплотворна здатність отриманого продукту, МДж/кг	6 – 9	7 – 10	–	–	12 – 16	12,4 – 14,0
Насипна щільність отриманого продукту, кг/м <sup>3</sup> насипного об'єму	250 – 300	250 – 350	250 – 300	80 – 120	150 – 250	80
Ефективна теплотворна здатність отриманого продукту, МВт×год/ м <sup>3</sup> насипного об'єму	0,7 – 0,9	0,5 – 0,8	0,4 – 0,7	0,5	0,6 – 0,8	0,3 – 0,4
Зольність сухої речовини, %	1 – 3	1 – 2	0,4 – 1,1	0,4	0,4-1	5

У порівнянні з традиційними видами палива енергія з деревних відходів має низку переваг: екологічна чистота; доступність; висока теплотворна здатність; низький вміст золи, шкідливих речовин; можливість повної автоматизації процесу спалювання; відновлюваність вихідної сировини; можливість вторинного використання відходів (золи в якості добрива).

Таблиця 6.35 – Енергетичний потенціал деревної біомаси в Україні

Складові потенціалу деревної біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т у.п.	Коефіцієнт технічної доступності	Технічний потенціал, млн. т у.п.	Коефіцієнт енергетичного використання	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Невивезена деревина на лісосіках (порубочні залишки), W 50 –60%	0,26	0,9	0,24	0,9	0,21
Первинні відходи деревообробки (відходи у ліспромгоспах при розпилюванні кругляка), W 40 –45%	0,37	0,9	0,33	0,7	0,23
Вторинні відходи деревообробки (відходи на ДОКах при виготовленні готової продукції), W 25 – 30%	0,23	0,9	0,21	0,7	0,14
Дрова, що вивозяться з лісосіки, W 40 – 45%	1,27	0,7	0,89	1,0	0,89

Узагальнюючи всю вищенаведену інформацію про відходи агропромислового комплексу в Україні, відмічено, що потенціал біоенергетики в країні практично не використовується. Це обумовлено тим, що існує низка бар'єрів на шляху розвитку біоенергетики, зокрема такі: субсидування внутрішніх цін на газ для населення та ЖКГ робить біомасу неконкурентоспроможною у цих секторах; відсутність субсидій для покупців біоенергетичного обладнання; відсутність діючої державної програми з розвитку біоенергетики; можливості сектора біоенергетики майже проігноровані при розробці проекту оновленої Енергетичної стратегії України на період до 2030 року; нерозвиненість ринку біомаси як палива; завищені екологічні вимоги до котлів, що працюють на біомасі; механізм утворення тарифів не стимулює виробників тепла застосовувати місцеві біопалива, а навпаки – спонукає їх до використання імпортного газу.

## Запитання і завдання для самоперевірки

1. Основні підходи до класифікації відходів підприємств.
2. Класифікація відходів за ступенем небезпечного впливу на людину.
3. Енергозатратність цукрового виробництва та шляхи її зменшення.
4. Основні положення ДСТУ 4714:207 «Енергозбереження».
5. Охарактеризуйте вторинні ресурси цукрових підприємств.
6. Які напрямки використання вторинних сировинних ресурсів у цукровій промисловості?
7. Який хімічний склад бурякового жому? Напрямки його переробки.
8. Де застосовується рафінадна патока?
9. Які напрямки використання фільтраційних осадів у цукровій промисловості?
10. Технологія виробництва ферментованих кормів.
11. Енергозберігаюча технологія переробки бурякового жому.
12. Як вилучають із жому пектин? Де застосовують цю харчову добавку?
13. Застосування ферментів для переробки відходів цукрових підприємств.
14. Сфери застосування нанокристалічної целюлози у народному господарстві.
15. Сфери застосування виноградних вичавок, гребенів і насіння.
16. Де застосовують виноробні сульфітовані та дріжджові осадки?
17. Охарактеризуйте області застосування відходів виноробної промисловості.
18. З чого виробляють винну кислоту і де її застосовують?
19. З чого виробляють амівіт? Де його застосовують?
20. Назвіть вторинні ресурси пивоварного виробництва і галузь їх застосування.
21. Напрямки застосування пивної дробини.
22. Чому пивна дробина при зберіганні небезпечна для довкілля?
23. Охарактеризуйте перспективні технології переробки вторинних ресурсів пивоварного виробництва.
24. Як проводять консервування сирової пивної дробини?
25. Ксиліт. Сфери застосування. Технологія виробництва.
26. Охарактеризуйте вторинні ресурси олійно-жирової галузі.
27. Сфери застосування соняшникових макух і шротів у народному господарстві.
28. Де можна застосувати лушпиння соняшника?
29. Сфери застосування соєвих макух і шротів.
30. Охарактеризуйте сенсорні та фізико-хімічні властивості соєвого шроту.
31. Який хімічний склад насіння ріпаку та шроту з нього? Сфери застосування ріпакової олії та шроту.

32. Основні технології переробки вторинних ресурсів олійно-жирової галузі.
33. Застосування рослинних олій для виробництва рідкого біопалива.
34. Класифікація технологій виробництва дизельного біопалива.
35. Які основні операції застосовують у технологіях виробництва дизельного біопалива з рослинних жирів?
36. Вимоги до якості ріпакової олії і її метилового ефіру (біопалива).
37. Де знаходять застосування відходів борошномельного і круп'яного виробництва?
38. Охарактеризуйте напрямки застосування відходів спиртової промисловості.
39. Технологія виробництва біогазу з відходів спиртової суміші.
40. Схеми утилізації після спиртової барди з використанням біотехнологій та фізико-хімічних методів.
41. Технологія переробки після спиртової барди для отримання кормових дріжджів.
42. Опишіть процес ферментації після спиртової барди для отримання кормових дріжджів.
43. Технологія переробки мелясної барди на біогаз.
44. Технологія виробництва і сфери застосування сухої барди.
45. Охарактеризуйте агропромисловий комплекс України і виробництва, на яких утворюються відходи, що придатні для переробки.
46. Процес відтворення сировинних ресурсів в АПК.
47. Класифікація відходів АПК. Напрямки їх використання.
48. Використання біомаси для енергетичних цілей.
49. Використання водоростей для виробництва біологічних палив.
50. Використання відходів тваринництва і птахівництва для виробництва енергоносіїв.
51. Використання відходів рослинництва для переробки на кормові, харчові та енергетичні цілі.
52. Використання лушпиння зерна і відходів деревини для виробництва альтернативних енергоносіїв.

## РОЗДІЛ 7

# ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З ВІДХОДІВ ХАРЧОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ ТА АГРАРНОГО КОМПЛЕКСУ

### 7.1. Біогаз

**Біогаз** – паливний газ, який виробляють із біомаси або біологічно розкладених компонентів, який може підлягати очищенню для придання йому

якості природного газу, і використовують як біопаливо або генераторний газ (хімічна формула –  $\text{CH}_4$ ).

У нетрадиційній енергетиці особливе місце займає переробка біомаси (органічних сільськогосподарських і побутових відходів) метановим бродінням з отриманням біогазу, що містить майже 70% метану, і знезаражених органічних добрив. Надзвичайно важлива утилізація біомаси в сільському господарстві, де на різні технологічні потреби витрачається велика кількість палива і безперервно ростуть потреби у високоякісних добривах. Всього в світі сьогодні використовується або розробляється майже 60- ти різновидів біогазових технологій.

Біогаз – це суміш метану і вуглекислого газу, що утворюється в процесі анаеробного зброджування в спеціальних реакторах – метантанках, улаштованих і керованих таким чином, щоб забезпечити максимальне виділення метану. Енергія, що отримується під час спалювання біогазу, може досягати від 60 до 90%, яку має початковий матеріал. Інше, – і дуже важливе, – цінність процесу переробки біомаси полягає в тому, що в його відходах міститься значно менше хвороботворних мікроорганізмів ніж у початковому матеріалі. Отримання біогазу економічно виправдане і є переважним під час переробки постійного потоку відходів (стоки тваринницьких ферм, боєнь, рослинних відходів тощо). Економічність полягає в тому, що немає потреби в попередньому зборі відходів, організації і управлінні їх подачі.

#### 7.1.1. Історія освоєння виробництва і використання біогазу

Широке використання біогазу почалося на початку двадцятих років минулого сторіччя після розробки технології безперервного виробництва біогазу з очисних комунальних стоків. Першу установку для отримання газу із стоків було побудовано поблизу Гааги. Проте, вона не забезпечувала переробку органічних відходів сільськогосподарської продукції, які складаються головним чином із целюлози. У 1942 році в Алжирі професори Дуцеллер і Ісманн запатентували установку для виробництва біогазу з гною з періодичною системою роботи без засобів підігрівання сировини. Енергетичні труднощі післявоєнного періоду сприяли розповсюдженню нової технології автономного енергозабезпечення. За короткий проміжок часу в Північній Африці, Італії і Франції було побудовано майже 1000



установок типу Дуцеллер Ісманн для ферментації твердого гною. Пізніше, в останній чверті ХХ ст., у багатьох країнах Європи відновилися інтенсивні експериментальні пошуки ефективної технології метанової ферментації, яка дає можливість виробництва біогазу з різної сировини сільськогосподарського походження. Як результат широкомасштабних досліджень було створено технологію без кисневої переробки сільськогосподарських відходів, відому сьогодні у всьому світі. Її реалізація в різних регіонах має свою специфіку. У Європі унаслідок низьких температур застосовують додаткове підігрівання для забезпечення необхідної температури метанової ферментації. У більшості випадків використовують комплексні системи, які виробляють з біогазу водночас тепло і електроенергію, проте їх недоліком є високі одиничні інвестиційні витрати.

Порівняно з іншими носіями енергії біогаз відрізняється своєю перспективністю, особливо для сільської місцевості (табл. 7.1).

Наступним, після біогазу, продуктом метанової ферментації є шлам, який називають біошламом або обробленою гноївкою, що є цінним органічним добривом.

**Таблиця 7.1 – Енергоємність біогазу порівняно з іншими носіями енергії**

Продукт	Одиниці вимірювання	Еквівалент 1 м <sup>3</sup> неочищеного біогазу 23 МДж/м <sup>3</sup>	Еквівалент 1 м <sup>3</sup> очищеного біогазу 35,2 МДж/м <sup>3</sup>
Спирт	дм <sup>3</sup>	1,10	1,70
Бензин	дм <sup>3</sup>	0,73	1,10
Електроенергія	кВт·год	0,620	0,940
Природний газ	м <sup>3</sup>	0,61	0,93
Вугілля	кг	0,82	1,25

Завдяки виробництву біогазу власники господарств мають можливість отримання додаткових доходів від використання або продажу як біогазу, так і обробленої гноївки у вигляді високоякісних органічних добрив. Живильні речовини з переробленої гноївки набагато краще засвоюються сільськогосподарськими рослинами. Оброблена гноївка краще зневоднюється (займає менший об'єм, завдяки чому її легко утилізувати) і майже не має запаху порівняно з необробленою. У разі застосування її як добрива зменшуються забруднення ґрунтових вод і розповсюдження хвороб і бур'янів, що у свою чергу дозволяє зменшити витрати на хімічні засоби підживлення і захисту рослин.

### **7.1.2. Розвиток біогазових технологій у країнах Європейського Союзу та світу**

На сьогоднішній день відновлювані джерела енергії (ВДЕ) займають значне місце в енергобалансі країн світу. Як свідчать дані Міжнародного енергетичного агентства<sup>1</sup>, 13,1% первинної енергії в світі в 2010 р. було

вироблено з ВДЕ, більшу частину яких склали біомаса – 9,9%. За період з 1991 р. споживання енергії з ВДЕ в ЄС збільшилося в два рази і склали в 2009 р. 153 млн. т н.е./рік, або 9% загального енергоспоживання ЄС-27. Енергія з біомаси склали 107,1 млн. т н.е. (70% від усіх відновлюваних джерел).

Виробництво електроенергії в ЄС в останні роки тримається на рівні 3200...3300 ТВт·год/рік. На частку ВДЕ припадає близько 21% загального обсягу виробництва. У структурі виробництва електроенергії з відновлюваних джерел перше місце займає гідроенергетика (57% всіх ВДЕ), на другому і третьому місцях знаходяться енергія вітру (21%) і біомаси (19%). Всього за рахунок ВДЕ в ЄС в 2020 р. має бути забезпечено 34% загального споживання електроенергії. Виробництво електроенергії з біомаси (тверда біомаса, органічні відходи, біогаз) повинно потроїтися і досягти 300 ТВт·год/рік.

Одним з важливих секторів ВДЕ в світі є виробництво та енергетичне використання біогазу. Лідером у виробництві біогазу по праву можна вважати Євросоюз в цілому, і Німеччину зокрема. Загальне виробництво біогазу в ЄС-25 у 2010 р. склали 10,9 млн. т н.е. (еквівалент 13,5 млрд. м<sup>3</sup> природного газу), з них 6,7 млн. т н.е. – вироблено в Німеччині (табл. 7.2). При цьому приріст по відношенню до 2009 р. склав 31,3%.

Загальна кількість біогазових установок в Європі перевищує 11 тис. одиниць. Протягом 2011 року в Німеччині за даними національної біогазової асоціації запущено 1310 нових БГУ. Загальна кількість БГУ в Німеччині склали 7215 одиниць, при цьому їх сумарна встановлена потужність досягла 2,9 ГВт. Всього протягом року з біогазу було вироблено 19,4 ТВт·год. електроенергії, що становить 3% виробленої електроенергії в країні.

У 2011 році в Європейському Союзі 56,7% біогазу було вироблено на біогазових установках, що використовують як сировину відходи АПК і спеціально вирощену рослинну сировину. Близько третини біогазу (31,3%) отримано на полігонах ТПВ. Решта (12%) вироблена на станціях очистки стічних вод. При цьому різні європейські країни мали різну спеціалізацію. Біогаз полігонів ТПВ відіграє основну роль у Великобританії, Франції, Італії та Іспанії, у той час як біогаз з сільськогосподарських відходів та рослинної сировини домінує в Німеччині, Нідерландах, Чехії, Австрії, Бельгії, Данії та Східній Європі.

Біогаз переважно використовувався для виробництва електроенергії та/або тепла. Домінуюча частина корисного використання енергії біогазу припадає на виробництво електроенергії, що становить 30,3 ТВт·год. на рік.

У 2011 році виробництво електроенергії з біогазу в ЄС зросло порівняно з 2010 роком на 18,4% і досягло 35,9 ТВт·год. За той же період продаж тепла, отриманого з використанням біогазу, підприємствам та тепловим мережам збільшився на 16% до 2,2 млн. т н.е.

У балансі виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС електроенергія з біогазу становить 4,5%, а в балансі виробництва електроенергії з біомаси – 24,4%. Згідно з офіційним прогнозом Єврокомісії<sup>4</sup> щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС в 2020 р. частка електроенергії з біогазу становитиме близько 8%, перевищивши внесок малої гідроенергетики, геотермальної та сонячної енергетики, а також електроенергії з відходів.

**Таблиця 7.2 – Виробництво біогазу та електроенергії з біогазу в країнах світу у 2010 р.**

Країна	Виробництво біогазу, тис. т н.е.				Валове виробництво електроенергії з біогазу, ГВт·год.		
	Біогаз полігонів ТПВ	Біогаз стічних вод	Інші види біогазу	Всього	ТЕС	ТЕЦ	Всього
Німеччина	232,5	402,6	6034,5	6669,6	14847,0	1358,0	16205,0
Великобританія	1492,6	258,0	0,0	1750,6	5137,0	575,0	5712,0
Італія	349,6	8,1	149,8	507,5	1451,2	602,9	2054,1
Франція	255,9	44,2	53,5	353,6	756,0	296,1	1052,1
Нідерланди	36,7	50,2	206,5	293,4	82,0	946,0	1028,0
Чехія	29,5	35,9	111,3	176,7	361,0	275,0	636,0
Іспанія	119,6	12,4	66,7	198,7	536,0	117,0	653,0
Австрія	5,1	22,3	144,2	171,6	603,0	45,0	648,0
Польща	43,3	63,3	8,0	114,6	149,3	418,0	567,3
Бельгія	41,9	14,6	70,9	127,4	0,0	398,4	398,4
Швеція	35,7	60,7	14,8	111,2	1,0	352,0	353,0
Данія	8,1	20,1	74,0	102,2	184,0	22,0	206,0
Греція	51,7	15,0	1,0	67,7	190,5	31,4	221,9
Ірландія	44,2	9,6	4,6	58,4	75,0	21,0	96,0
Фінляндія	22,7	13,2	4,6	40,4	90,0	11,0	101,0
Словаччина	0,8	9,5	1,8	12,2	51,5	37,8	89,2
Португалія	28,2	1,7	0,8	30,7	7,2	90,2	97,4
Словенія	7,7	2,8	19,9	30,4	1,0	21,0	22,0
Угорщина	2,6	12,3	19,3	34,2	5,9	50,8	56,7
Литва	7,9	3,3	2,2	13,3	0,0	55,9	55,9
Люксембург	0,1	1,2	11,7	13,0	0,0	31,0	31,0
Латвія	2,0	3,0	5,0	10,0	0,0	36,4	36,4
Румунія	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0
Естонія	2,7	1,1	0,0	3,7	0,0	10,2	10,2
Кіпр	0,0	0,0	1,0	1,0	–	–	–

Значна частина первинної енергії біогазу споживається на власні потреби БГУ (підігрів біореакторів, привід механізмів) або просто розсіюється у вигляді теплової енергії в атмосферу через відсутність споживача теплової енергії поблизу БГУ. У зв'язку з цим, в останні роки почали стрімко розвиватися проекти з виробництва очищеного біогазу

(біометану) з подальшим закачуванням в мережі ПГ. У 2011 році в Європейському Союзі налічувалося за різними даними приблизно 180 установок з виробництва біометану, 130 з яких постачали біометан в газові розподільчі мережі, на інших біометан використовувався як моторне паливо для автомобілів. Сумарна потужність біометанових установок становила 70000 нм<sup>3</sup>/рік. Тільки в Німеччині в липні 2012 року працювало 87 установок, на яких вироблялося 55930 нм<sup>3</sup>/рік біометану. В цей же час в процесі будівництва знаходилося ще 39 установок з перспективою збільшення виробництва біометану до 81620 нм<sup>3</sup>/рік. У Швеції з 47 біометанових установок 7 постачали біометан в газові мережі, решта виробляли моторне паливо для транспорту, у Швейцарії відповідно 7 і 15, в Нідерландах всі 13 установок забезпечували постачання в мережу ПГ. Загальне виробництво біометану у 8 країнах ЄС в 2010 – 2011 рр. склало приблизно 0,5 млрд. м<sup>3</sup>/рік.

Крім того, розвивалися проекти будівництва БГУ поблизу споживачів тепла або створення таких споживачів тепла поблизу БГУ. Це дозволило більш повно використовувати енергію виробленого біогазу в періоди і в місцях максимального повного використання виробленої теплової енергії.

Великі обсяги виробництва біогазу та біометану стали наслідком додаткового використання як субстрату спеціально вирощуваних енергетичних рослинних культур (переважно силосу кукурудзи). Наприклад, у Німеччині для цих цілей було задіяно близько 1 млн. га, що становить 8,3% від загальної площі орних земель (більше 12 млн. га).

Дорожня карта з виробництва біогазу в країнах ЄС показує можливість виробництва біогазу в 27 країнах ЄС в 2020 р. в обсязі, еквівалентному 29,43 млн. т н.е. (еквівалент 36,29 млрд. м<sup>3</sup> природного газу) Для цього достатньо буде використовувати 35% всіх гнойових відходів тваринницьких ферм і вирощувати енергетичні культури під біогаз на 5% сільськогосподарських земель. При цьому приблизно 3/5 обсягу біогазу планується виробляти з енергетичних культур, 1/5 – з гною, і ще 1/5 – з інших відходів і побічних продуктів промисловості та сільського господарства. За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжить стрімко розвиватися, заміщуючи інші енергоносії у загальній структурі енергетичного балансу країн.

### **7.1.3. Біогазові технології в Україні**

В Україні тільки на великих свинарських і птахівницьких комплексах щорічно утворюється понад 3 млн. т органічних відходів у сухій речовині, переробка яких дозволить отримати майже 1 млн. т у.п. у вигляді біогазу, це еквівалентно 8 млрд. кВт·год. електроенергії. Крім того, в Україні є майже 2 млн. негазифікованих сімейних підвір'їв. Досвід країн, незабезпечених природним газом (наприклад, КНР), показує, що віддалені сільські місцевості доцільно газифікувати за допомогою малих біоустановок, що працюють на органічних відходах сімейних підвір'їв. Енергетичний потенціал біогазу наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Енергетичний потенціал біогазу

Вид біогазу	Теоретичний потенціал, млн. т у.п.	Коефіцієнт технічної доступності	Технічний потенціал, млн. т у.п.	Коефіцієнт енергетичного використання	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Біогаз з відходів тваринництва	3,27	0,7	2,45	0,3	0,76
Біогаз з твердих побутових відходів	0,77	0,6	0,46	0,6	0,26
Біогаз з осадів станцій аерації	0,21	0,6	0,13	0,7	0,09
Біогаз з кукурудзи як енергетичної культури	1,59	0,7	1,11	1,0	1,11

В Україні існують поодинокі приклади впровадження біогазових технологій. Перша з нині працюючих на відходах тваринництва БГУ промислового типу була побудована в 1993 р. на свинофермі комбінату «Запоріжсталь». Після цього були запуснені біогазові установки компаній «Агро-Овен», «Еліта», «Українська молочна компанія». Станом на 2012 р. на базі сільськогосподарських підприємств в Україні функціонували 4 біогазові установки (табл. 7.4).

Біогазова установка на комбінаті «Запоріжсталь» була впроваджена з метою очищення стоків та зменшення споживання енергії, на сьогоднішній день енергетична (теплова) утилізація біогазу реалізується на власні потреби свинокомплексу комбінату. На свинокомплексі корпорації «Агро-Овен» електроенергія, що виробляється у біогазовій установці, споживається на власні потреби установки та підприємства, при цьому когенераційна установка не підключена до загальної електромережі.

Експлуатація БГУ компанії «Еліта» була призупинена в 2011 р. у зв'язку з нерентабельністю роботи за відсутності «зеленого» тарифу. Єдиною біогазовою установкою, підключеною до мережі, є на сьогоднішній день БГУ на фермі ВРХ «Української молочної компанії». УМК отримала дозвіл на подачу і продаж електроенергії, що виробляється за спеціальним тарифом (нижче ринкового тарифу на електроенергію з мережі для промислових підприємств). Компанія планувала збільшення потужності КГУ до 1,0 МВтє за рахунок використання додаткових рослинних субстратів (імовірно силосу кукурудзи).

Таблиця 7.4 – Діючі біогазові установки в Україні

Підприємство	Рік запуску	Поголів'я	Види сировини	Об'єм сировини, т/доб	Об'єм реакторів, м <sup>3</sup>	Встановлена електрична потужність, кВт	Постачальник технології
Свиноферма комбінату «Запоріжсталь», м. Запоріжжя	1993	8000-12000	Гній свиней	20...22	595	–	Bigadan Ltd, Данія
Свиноферма корпорації «Агро-Овен», с. Оленівка, Дніпропетр. обл.	2003	15000	Гній свиней, жирові відходи забою птиці	80	2 x 1000	180	BTG, Нідерланди
С / г компанія «Еліта», Терезине, Київська обл.	2009	1000	Гній ВРХ та свиней (90:10 за СР)	60	1500	250	LIPP, Німеччина
Ферма ВРХ «УМК», с. В.Крупіль, Київська обл.	2009	4000 + 2000	Гній	400	3 x 2400 + 1000	625 + 330	Зорг, Україна

У вересні 2011 р. було розпочато будівництво біогазової установки на базі свинокомплексу в с. Копанки, Калуського району, Івано-Франківської обл., власник підприємства і біогазової установки – датська компанія «Danosha Ltd.». Потужність КГУ повинна була скласти 1064 кВте. Залежно від умов реалізації вироблюваної електроенергії планувалося зброджувати лише гній свиней (за відсутності «зеленого» тарифу) або з додаванням зеленої рослинної маси (у разі прийняття ЗТ під біогаз).

У 2012 році «Миронівський хлібопродукт» розпочав роботи з будівництва біогазової установки на птахофабриці «Оріль-Лідер» у Дніпропетровській області. Планує реалізувати амбітну біогазову програму з тридцяти БГУ і компанія «Укрлендфармінг».

Експертами підраховано, що впровадження 2 млн. установок в Україні дозволили б отримати майже 2 млрд. м<sup>3</sup> біогазу в рік, що еквівалентно 13 млрд. кВт·год. енергії, і забезпечило б сімейні садиби органічними добривами у кількості 10 млн. т у рік. Для розвитку біоенергетики в Україні з метою отримання біогазу і високоякісних добрив необхідне створення

економічного механізму, стимулюючого науково-технічні роботи в цій галузі.

Агропромисловий сектор України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, потенційно володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними замінити 2,6 млрд. м<sup>3</sup> ПГ/рік. При подальшому розвитку сільського господарства та широкому використанні рослинної сировини (силос, трави) цей потенціал може бути доведений за різними оцінками від 7,7 до 18 млрд. м<sup>3</sup>/рік у перерахунку на природний газ. У першому випадку передбачається використовувати 6% орних (50% вільних від посівів) земель в Україні під вирощування кукурудзи на біогаз з консервативною величиною урожайності 30 т/га. При цьому частка біогазу з силосу кукурудзи складе 53,0% від загального потенціалу, з побічної продукції та відходів рослинництва – 5,7%, з побічної продукції та відходів харчової переробної промисловості – 5,3%, з гнойових відходів тваринництва – 36%.

Другий варіант з більш високим прогнозом передбачає використання 7.9 млн. га вільних від посівів земель під вирощування кукурудзи на біогаз з урахуванням підвищення врожайності.

У табл. 7.5 показаний потенціал виробництва біогазу на існуючих підприємствах АПК України і при вирощуванні силосу кукурудзи для виробництва біогазу на 50% вільних орних земель (при врожайності 40 т зеленої маси з 1 га і виході біогазу 180 м<sup>3</sup>/т зеленої маси).

Потенційний обсяг біогазового ринку в Україні може бути освоєний протягом 10...20 років (до 2030 року). Необхідною передумовою реалізації даних проектів на першому етапі є введення економічно обґрунтованого ЗТ для електроенергії з біогазу. Для реалізації ефективних енергетичних біогазових проектів важливо стимулювати виробництво електроенергії з біогазу, отриманого не тільки з відходів біомаси, а також зі спеціально вирощеної рослинної сировини. Паралельно з виробництвом електроенергії в Україні доцільно впроваджувати виробництво біометану для прямого заміщення природного газу або більш ефективної енергетичної утилізації біогазу при виробництві електроенергії та тепла.

У цілому біогазовий ринок в Україні можна оцінити як перспективний, з досить широкою обізнаністю учасників, що очікує сигналів з боку держави. Такими сигналами на першому етапі може бути введення в дію гарантованої законом величини «зеленого» тарифу для електроенергії з біогазу без обмеження видів обладнання чи сировини, інші види реального законодавчої підтримки та нормативно-правового забезпечення.

**Таблиця 7.5 – Потенціал виробництва біогазу в ряді галузей АПК України**

Вид діяльності	Загальна кількість підприємств в Україні	Обсяг основної продукції	Загальний обсяг основних відходів	Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів/продукції	Частка економічно доцільного потенціалу
		тис. т (голів)	тис. т	млн м <sup>3</sup> /рік	на БГУ з міні-ТЕЦ від 0.1 МВтє
Всього по Україні	11667	–	39727	9543	54%
Цукрові заводи	60	1546,0	23263,5	975,5	46%
Пивоварні	51	3100,0	1016,8	121,8	10%
Спиртові заводи	58	204,7	2705,0	116,8	13%
Ферми ВРХ	5079	1526,4	15431,6	385,8	97%
Свиноферми	5634	3625,2	5656,7	160,3	30%
Птахофабрики	785	110561,3	4721,5	377,7	68%
Силос кукурудзи	вирощування на 50% вільних орних земель	41140,4	–	7405,5	–

#### **7.1.4. Основні види сировини для генерації біогазу**

В якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися як органічні агропромислові чи побутові відходи, так і рослинна сировина – силос кукурудзи, трав'яний силос, зерно і силос злакових культур. Найбільш придатними для виробництва біогазу видами відходів агро-промислового комплексу (АПК) є:

- гній свиней та ВРХ, послід птиці;
- бадилля овочевих культур;
- некондиційний урожай злакових та овочевих культур, цукрових буряків, кукурудзи;
- жом і меляса;
- барда спиртова;
- мучка, дробина, дрібне зерно, зародок;
- дробина пивна, солодові паростки, білковий відстій;
- відходи крахмало-патокового виробництва;
- вичавки фруктові та овочеві;
- сироватка і маслянка.



Кількість субстратів/видів відходів, що використовуються для виробництва біогазу в межах однієї біогазової установки, може варіюватися від одного до десяти і більше. Залежно від типів і кількості видів застосовуваних субстратів існують різні варіанти технологічних схем біогазових станцій. У разі застосування декількох субстратів, що відрізняються властивостями, наприклад, рідких і твердих відходів, їх накопичення, попередня підготовка (подрібнення, біоактивізація, підігрів, гомогенізація або інша фізико-хімічна обробка) проводиться окремо, після чого вони або змішуються перед подачею в біореактори, або подаються роздільними потоками.

Використання попередньої підготовки у ряді випадків дозволяє домогтися збільшення швидкості і ступеня розпаду сировини в біореакторах, а отже – загального виходу біогазу.

Біогазові проекти в агропромисловому секторі можуть бути організовані за одним зі способів: виробництво біогазу на базі відходів окремого підприємства (наприклад, гній тваринницької ферми, жом цукрового заводу, барда спиртового заводу), при цьому один вид відходу буде домінуючим; виробництво біогазу на базі відходів різних підприємств, з прив'язкою проекту до окремого підприємства або окремо розташованої централізованої БГУ; виробництво біогазу з переважним використанням енергетичних рослин на окремо розташованих БГУ.

Біогазові проекти в житлово-комунальному секторі можуть бути організовані таким чином: виробництво біогазу з органічної частини твердих побутових відходів, що збираються одним або кількома комунальними підприємствами; виробництво біогазу з осадів станцій очистки стічних вод; збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ.

Властивості біогазу є одним з головних параметрів, які впливають на придатність його використання як палива для двигуна когенераційної установки. Деякі властивості можуть значно підвищити ціну всього проекту. Або зробити його неможливим. До оцінювання біогазу слід приступати з повною відповідальністю. Під час його оцінювання слід знати такі властивості.

Нормальний вміст метану  $\text{CH}_4$  – 55...65%. Мінімальною вважається 50% концентрація.

Тиск біогазу під час спалювання в когенераційній установці має знаходитися в межах від 1,5 до 10 КПа.

Постійність якості газу (константний склад і тиск біогазу) – вплив на стабільність роботи і кількість емісій.

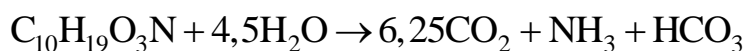
Вміст шкідливих речовин (перш за все з'єднання сірки, фтору і хлору) – ці з'єднання можуть викликати корозію компонентів всмоктувального тракту і внутрішніх частин двигуна, які контактують із змащувальними оліями. За вищого вмісту сірки є доцільним встановлювати сіркоочишувач.

### 7.1.5. Опис технологічного процесу утворення біогазу

Біогаз утворюється у результаті анаеробної ферментації органічних матеріалів. Необхідною умовою для отримання біогазу є продуктивна життєдіяльність метанотворної бактерії. На сьогоднішній день відомо, що це є нестача кисню, рН – фактор від 6,5 до 7,5 і постійна температура від 15°C до 55°C. Період ферментації становить від 10 до 120 днів в залежності від умов які регулюються приведеними параметрами, а саме фактором рН і температурою середовища.

Метанове збродження являє собою процес розкладання органічних речовин до кінцевих продуктів, в основному метану і вуглекислого газу, завдяки життєдіяльності складного комплексу мікроорганізмів в анаеробних умовах. При оптимальних умовах ці гази утворюються в кількості які складають 90...9 % розкладеної органічної речовини. Решта 5...10% витрачаються на відновлення бактеріальних клітин.

По теорії Маккарті повне руйнування органічних речовин відбувається слідує чим чином:



Згідно сучасним уявленням анаеробне метанове збродження має чотири пов'язані стадії:

1. Стадія ферментативного гідролізу нерозчинних складних органічних речовин з утворенням простих розчинних речовин;
2. Стадія кислототворного процесу з виділенням летючих жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, водню і вуглекислого газу (кислотогенна стадія);
3. Ацетогенна стадія перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів в оцтову кислоту;
4. Метаногенна стадія – утворення метану з оцтової кислоти і відновлення воднем вуглекислого газу.

Ферментативний гідроліз відбувається з допомогою ферментативних бактерій *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Clostridium* і т.д., які перетворюють органічні складні сполуки в прості шляхом ферментативного гідролізу і кислотоутворення. Ці бактерії при рН = 6,5...7,6 швидко ростуть і виділяють в середовище біологічні каталізатори – екзоферменти, при участі яких і протікає гідроліз і перехід твердих нерозчинних з'єднань в розчинний стан. Швидкість гідролізу залежить від природи органічних речовин і умов його проведення: необхідно забезпечити достатню кількість ферментів, створити умови для їх контакту з органічним субстратом, витримувати оптимальні температури і величини рН.

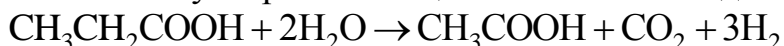
Оскільки наступні стадії анаеробного збродження не можуть початися, поки не пройде гідроліз і тверді нерозчинні речовини не перейдуть в рідку фазу, загальна швидкість процесу може сповільнюватись закінченням гідролізу. Технологічні параметри гідролізу вивчені недостатньо.

Кислотогенна стадія відбувається за допомогою гетерогенних мікроорганізмів, для яких вуглець, що перейшов в розчин простих

органічних сполук є джерелом харчування. Дослідження показали, що 20% органічних сполук перетворюються в оцтову кислоту, 15% – в пропіонову і 65% в інші перебіжні з'єднання.

Стадії кислотоутворення відбуваються швидко, оскільки бактерії кислототворні не вибагливі і розмножуються з великою швидкістю. Інтенсивний перебіг гідролізу і кислотоутворення (загальна тривалість біля 7 годин) приводить до накопичення летучих кислот і зниження рН, що пригнічує ріст бактерій і стримує метаногенез.

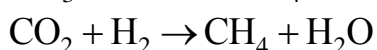
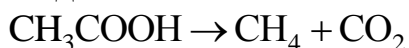
На третій ацетогенній стадії перша група бактерій, як приклад з пропіонової і масляної кислот утворюється оцтова кислота і водень.



Друга група ацетогенних бактерій утворює оцтову кислоту шляхом відновлення вуглекислого газу воднем.



На четвертій метаногенній стадії метанові бактерії утворюють метан двома шляхами – розщепленням ацетату (оцтової кислоти) і відновленням вуглецевої кислоти воднем.

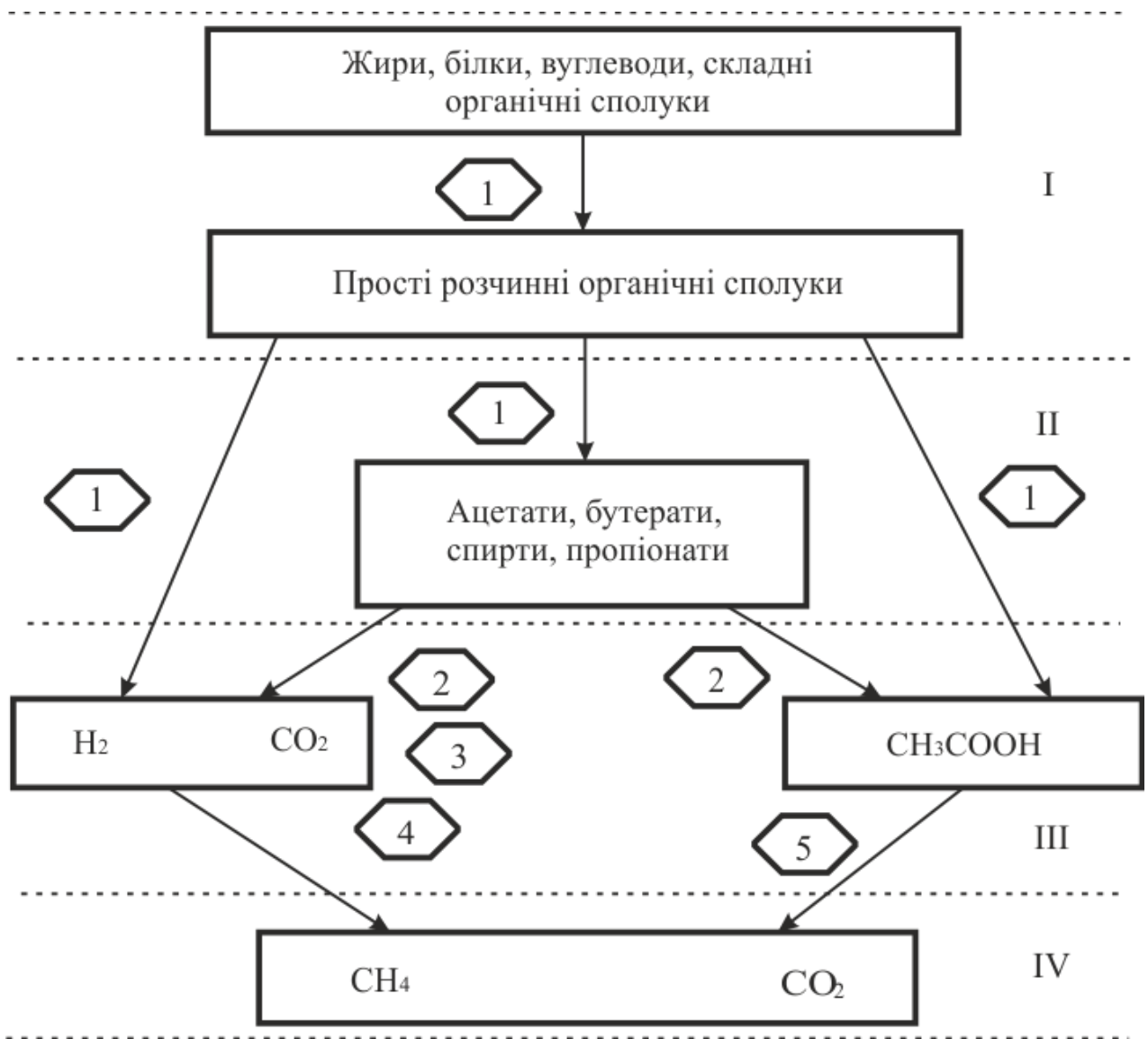


На рис. 7.1 показана схема, стадії і процеси анаеробного метанового зародження.

Найпростіший процес метанового бродіння відбувається у водонепроникних цистернах (дайджестерах) з бічним отвором, через який вводиться ферментативна сировина. Над дайджестером встановлюється контейнер (металевий, чи пластиковий) для збирання газу. Встановлений над біомасою, що бродить купол-контейнер запобігає проникненню повітря в середину купола і забезпечує анаеробні умови процесу.

У випадках використання відходів органічного походження, рідкого гною, фекалій співвідношення між органічним компонентом і водою повинно складати 1:1, що відповідає загальній концентрації сухих речовин в розчині 8...12% по вазі. Жом після водовідділення має близьке до такого співвідношення. Суміш можна засівати ацетогенними і метаногенними бактеріями або осадом з інших біо- газових установок. Низький рН знижує ріст метаногенних бактерій і зменшує вихід біогазу, такий ефект викликає перевантаження метантенку і неефективне його використання.

Проти закислення, як стабілізатор, використовується вапно. Оптимальне «дихання» в метантенку відбувається в умовах, близьких до нейтральних (рН 6,0...8,0). Максимальна температура процесу залежить від мезофільності або термофільності мікроорганізмів (30...40°C або 50...60°C) різкі зміни температури небажані.



1 – ферментативні кислотогени; 2 – ацетогени утворюючі H<sub>2</sub>;  
 3 – ацетогени використовуючі H<sub>2</sub>; 4 – метаногени відновлюючи CO<sub>2</sub>;  
 5 – метаногени використовуючі ацетат. I – гідроліз; II – кислотоутворення;  
 III – утворення оцтової кислоти; IV – утворення метану

Рис. 7.1 – Схема анаеробного метанового зародження

З точки зору живильних потреб бактерій надлишок азоту (наприклад, у випадку рідкого гною) сприяє накопиченню аміаку, який пригнічує ріст бактерій. Для оптимальної переробки співвідношення C/N повинно бути 30:1 (по масі). Це співвідношення можна змінювати, змішуючи складові, збагачені азотом, з складовими збагаченими вуглецем. Так, співвідношення гною можна змінювати добавками соломи або жому з цукрових буряків. Відходи харчової промисловості і сільськогосподарського виробництва мають значну кількість вуглецю, тому вони краще всього підходять для метанового «бродиння», тим більше, що деякі з них (жом) отримуються при температурі, найбільш оптимальній для цього процесу.

Багато перемішувати суспензію зброджуваних речовин, щоб запобігти розшаруванню, яке знижує інтенсивність бродіння. Тверді матеріали необхідно подрібнити і роздробити, так як великі частинки зменшують поверхню контакту і таким чином знижують вихід метану. Практично, період переробки гною великої рогатої худоби складає два-чотири тижні, для свинячого гною – 10 днів. Такого часу достатньо для того, щоб знищити всі патогенні ентеробактерії і ентеровіруси, а також 90 % інших шкідливих вірусів.

#### **7.1.6. Генерація біогазу з полігонів твердих побутових відходів**

Будь-який полігон твердих побутових відходів (ТПВ) є своєрідним біохімічним реактором, у надрах якого в процесі експлуатації протягом декількох десятиліть після закриття виходить, унаслідок анаеробного розкладу відходів рослинного і тваринного походження, біогаз. Біогаз, або як його іноді називають, газ звалища, – це суміш метану і вуглекислого газу приблизно в рівній пропорції і незначних домішок газів, які зазвичай не перевищують 1%.

Біогаз неминуче потрапляє в атмосферу, що призводить до низки негативних наслідків. Так, відомо немало випадків отруєння під час технічного обслуговування комунікацій. Накопичення газу звалища часто призводить до самозагоряння звалищ. Процес горіння супроводжується утворенням токсичних речовин, зокрема діоксину. Останнім часом особливо актуальним стало питання, пов'язане з парниковими властивостями метану, який міститься в біогазі, у зв'язку з проблемою зміни земного клімату. Найбільш ефективним способом усунення вказаних наслідків є збір і, за можливості, використання біогазу як джерела енергії.

Системи збирання і утилізації біогазу сьогодні широко використовують на полігонах ТПВ у цілому світі. За даними Європейської біогазової асоціації, кількість таких систем в 2002 році становила: у Німеччині – 409, Італії – 89, Швеції – 83, Данії – 17. У США є близько тисячі полігонів, на яких біогаз збирається і, як мінімум, спалюється у факелах. Газ звалища майже третини цих полігонів використовується для отримання теплової або електричної енергії.

Наявність системи збирання і утилізації біогазу є обов'язковою умовою під час будівництва полігонів ТПВ у більшості розвинених країн світу.

В Україні щорічно виробляється приблизно 15 млн. тонн ТПВ. Майже 90% ТПВ вивозять на звалища. З 655 звалищ майже 140 можна вважати придатними для збору і використання біогазу. Проте, до останнього часу в країні не було ні жодної системи збору і утилізації біогазу, яка б працювала, за винятком демонстраційного проекту в м. Луганську.

У рамках українсько-американської програми «Еколінкс» у 2002 році почалася реалізація демонстраційного проекту «Зниження викидів парникових газів в атмосферу за рахунок збору і утилізації метану на полігоні ТПВ м. Луганська».

Проектом передбачалася розробка для всього полігону системи збору і утилізації газу, яка об'єднує майже тридцять бурових свердловин, зокрема три демонстраційних. Зібраний біогаз передбачалося спалювати за допомогою факельної установки.

Вибраний для реалізації проекту полігон був уведений в експлуатацію 1979 р. Щорічно сюди вивозиться 350...500 тис.м<sup>3</sup> ТПВ. До 2002 року накопичилося 1600 тис. тонн відходів. Оскільки полігон практично заповнений, розпочато роботи із спорудження його другої черги.

Первинне оцінювання кількості біогазу, який утворюється на полігоні, було виконано за широко використовуваною моделлю Агентства захисту навколишнього середовища (США):

$$Q=L \cdot R \cdot (e^{-k \cdot c} - e^{-k \cdot t}),$$

де Q – кількість метану, який утворюється протягом року (м<sup>3</sup>/рік);

L – потенціал утворення метану (м<sup>3</sup>/т ТПВ);

R – середня кількість ТПВ, які вивозяться на звалище (т/рік);

k – постійний показник утворення метану (1/рік);

c – час, який пройшов з моменту закриття полігону (років);

t – час, що пройшов з моменту відкриття полігону (років).

В умовах недостатньої інформації про реальні властивості українських ТПВ під час розрахунків було прийнято параметри, типові для США та інших розвинених західних країн: потенціал утворення метану L = 125 м<sup>3</sup>/т, постійний показник утворення метану k = 0,04 рік<sup>-1</sup>. Для визначення кількості біогазу отриманий об'єм метану необхідно подвоїти.

Для українських полігонів ТПВ ці параметри можуть відрізнятися від прийнятих у зв'язку з іншими кліматичними умовами і морфологічними складовими відходів. Проте уточнення параметрів – справа майбутнього, коли на українських полігонах будуть реалізовані перші проекти збору біогазу. Вже перші результати, отримані на Луганському, полігоні ТПВ показали, що використовувані величини, придатні для попереднього оцінювання об'ємів створюваного біогазу.

Для оцінювання можливої кількості зібраного біогазу було прийнято, що система збору покриватиме 80% площ полігону, а ефективність збору з окремої бурової свердловини становитиме 75%. У розрахунках приймалося, що вивезення ТПВ на полігон триватиме до 2010 року включно. У такому разі кількість ТПВ досягне 2150 тис. тонн.

Проектом було передбачено буріння трьох вертикальних шурфів глибиною до 20 метрів і діаметром не менше 400 мм. Досі бурової свердловини такого діаметра на українських полігонах ТПВ не споруджувалося.

На першому етапі освоєння проекту застосовувалася бурильна машина на базі автомобіля ГАЗ-66 зі шнеком діаметром 135 мм і завдовжки 3 м. Шнек міг нарощуватися в процесі буріння аж до проектною глибини, яка у такому випадку становила 21 м. Виконання однієї бурової свердловини займало майже дві години. Буріння маленьким діаметром (135 мм) давало

можливість ретельно досліджувати вертикальний розподіл складу і вологості ТПВ.

На другому етапі до робіт було залучено геологорозвідувальну компанію, яка має можливість бурити свердловини діаметром 400 мм. Спосіб буріння – роторний, що робить можливим промивання робочої зони для винесення роздроблених порід з бурової свердловини разом з водою на поверхню. Декілька спроб показали, що такий метод непридатний для полігонів ТПВ.

Третій етап робіт виконувала будівельна компанія, устаткування якої дозволяє бурити шурфи діаметром 620 мм і глибиною до 15 м. Застосовувалася бурова установка на базі крана РДК-25, який зазвичай використовується в будівництві, а також для забивання паль. Загальна вага установки – 50 тонн, діаметр робочого шнека – 620 мм. Метод буріння роторний за допомогою шнекового бура, що обертається. Максимальна глибина була обмежена висотою шнека. Процес буріння до глибини 15 м виконаний без ускладнень у всіх трьох бурових свердловинах. Єдиною практичною проблемою було розміщення крупних механізмів на дещо м'якій поверхні полігону. У бурових свердловинах встановили перфоровані труби. Ці бурові свердловини засипали гравієм до глибини 2,4 м від поверхні полігону і ущільнили глиною їх верхню частину. Споруда колектора і підключення його до факельної установки завершилася в січні 2003 року. Сьогодні біогаз спалюється у факелі. Перші вимірювання показали, що в трьох бурових свердловинах накопичується 90 м<sup>3</sup>/год біогазу за концентрації метану майже 60%. Оскільки три демонстраційних бурових свердловини становлять 10% від повномасштабної системи, вимірювання добре узгоджуються з результатами попередніх розрахунків. Проте остаточні висновки про кількість біогазу, який збирається, можна буде зробити після моніторингу протягом, принаймні, декількох місяців.

У цьому проекті важливою проблемою стало питання можливості утилізації біогазу. Було розглянуто п'ять основних варіантів утилізації біогазу: просте спалювання у факелі; транспортування до споживача газовими трубопроводами і продаж як замітника природного газу; виробництво електроенергії на полігоні; виробництво електроенергії з частковою утилізацією теплоти на полігоні; використання як палива для автомобілів.

Для кожного з п'яти варіантів було здійснено оцінювання капітальних витрат, необхідних для створення системи збору і утилізації біогазу і розглянуто дві можливості використання устаткування, – вітчизняного і зарубіжного. Під час визначення вартості системи збору з використанням місцевих матеріалів і залученням субпідрядників враховувалися ціни і вартість послуг, визначених у процесі реалізації демонстраційного проекту. Для іноземного варіанта послуг і устаткування використовувалися рекомендовані показники Світового Банку і Агентства захисту навколишнього середовища США.

Капітальні витрати включають декілька складових: матеріали для будівництва бурових свердловин, горизонтального колектора і факельної установки; роботи з буріння свердловин, монтажу бурових свердловин і колекторів, а також підготовка полігону до будівництва системи збирання і утилізації біогазу, так звана рекультивація поверхні полігону. Споживання біогазу на місці або його транспортування до споживача газовими трубопроводами з подальшим продажем як заміни природного газу – привабливий варіант утилізації біогазу, оскільки він потребує незначних капіталовкладень. Час окупності придбаного споживачами біогазу становить 1,0 або 1,8 року, залежно від застосованого оснащення вітчизняного або більш вартісного іноземного. Під час розрахунків термін «життя» проекту брався за 15 років. Амортизація розподілялася рівномірно на весь цей час. Вважалося, що витрати на технічне обслуговування (окрім заробітної плати) становлять 3% від капітальних витрат. Період самоокупності визначений як просте відношення капітальних витрат до річного доходу за винятком витрат на технічне обслуговування і заробітну плату. Виробництво електроенергії на полігоні з подальшим продажем у мережу залишається популярним способом утилізації біогазу на Заході. Проте в умовах України ця можливість залишається проблематичною через низькі тарифи на електроенергію і практичні труднощі, які виникають у малих виробників під час передачі електроенергії в мережу. Кількість зібраного біогазу є достатньою, щоб встановити на полігоні газову електростанцію загальною встановленою потужністю 1500 КВт.

Розглянуто також два варіанти використання устаткування українського і західного виробництва. Перший варіант передбачав використання трьох газових двигунів потужністю 500 КВт, кожен компанії ВАТ «Першомайськдизельмаш», другої, – трьох потужностей по 512 КВт виробництва Jenbacher (Австрія).

Період самоокуповування проекту у разі продажу електроенергії становитиме відповідно 1,6 і 3,9 року, якщо оснащення працюватиме впродовж 8000 годин у рік.

Але є ще один з найважливіших аспектів, який стосується продажу електроенергії, яка виробляється на полігонах ТПВ з біогазу. Такий варіант стане реальним, якщо законодавчо зобов'язати енергорозподільчі компанії купувати електроенергію у малих виробників за фіксованими цінами.

Виробництво електроенергії з частковою утилізацією теплоти на полігоні теоретично дозволить поліпшити економічні показники проекту порівняно лише з виробництвом електроенергії.

Емісія парникових газів, коли проект збирання і утилізації біогазу на Луганському полігоні буде реалізований, зменшиться на 62000 тонн  $\text{CO}_2$  – еквівалента за рік за рахунок зменшення викидів метану в атмосферу і заміщення ним використовуваного досі природного газу для виробництва тепла і електроенергії. У разі реалізації проектів загального впровадження і передачі одиниць зниження викидів парникових газів потенційному



інвесторові за ціною три американські долари за тону (цей механізм передбачений Кіотським протоколом), період самоокуповування цього проекту вдасться понизити приблизно в два рази.

Витрати на зниження викидів парникових газів впродовж 2008 – 2012 рр. становлять від 0,88 до 2,61 \$ США за 1 т CO<sub>2</sub> – еквівалента. А це ще раз підтверджує виняткову ефективність проектів збору і утилізації біогазу на полігонах ТПВ, враховуючи проблеми зміни клімату.

Встановлено, що будівництво сучасних систем збору та утилізації біогазу забезпечує низку мультиплікаційних ефектів: екологічні ефекти 1-го порядку породжують екологічні ефекти 2-го, які, в свою чергу, зумовлюють економічні та соціальні ефекти (табл. 7.6).

**Таблиця 7.6 – Систематизація ефектів від викоистання біогазових установок**

Екологічний ефект		Економічний ефект		Соціальні ефекти
1-го порядку	2-го порядку	1-го порядку	2-го порядку	
припинення викидів газу метану в атмосферне повітря	зменшення ризику руйнування озонового прошарку та зміни клімату	отримання коштів від продажу одиниць скорочення викидів згідно з Кіотським протоколом	інвестування коштів від продажу одиниць скорочення викидів згідно з Кіотським протоколом	створення додаткових робочих місць у результаті інвестування коштів, отриманих від продажу одиниць скорочення викидів
зменшення негативного впливу на довкілля від функціонування сміттєзвалищ та полігонів	відновлення екосистем навколо сміттєзвалищ та полігонів ТПВ	відновлення економічних функцій земельних ресурсів навколо сміттєзвалищ та полігонів ТПВ	отримання доходів від використання землі навколо сміттєзвалищ та полігонів ТПВ як капіталізованої вартості	зменшення негативного впливу сміттєзвалищ та полігонів ТПВ на здоров'я місцевого населення
зменшення викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря внаслідок заміни традиційних джерел енергії на біогаз	очищення атмосферного повітря навколо стаціонарних та пересувних джерел забруднення, що використовували традиційні джерела енергії	інвестування коштів у розвиток біоенергетики	отримання доходів від використання біогазових установок та продажу біогазу	створення додаткових робочих місць у галузі біоенергетики; зменшення негативного впливу на довкілля та людей від викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря

Одним із технологічних чинників, що визначає перспективи створення системи збору та утилізації біогазу, є потенціал газоутворення на полігоні. Дослідження потенціалу біогазу на вітчизняних полігонах ТПВ дозволяє стверджувати, що близько 90 існуючих полігонів є найбільш великими і містять до 30% всіх ТПВ України. Потенціал біогазу, доступного для виробництва енергії на цих полігонах, становить близько 400 млн. м<sup>3</sup>/рік, що еквівалентно 300 000 т умовного палива. Орієнтовними критеріями відбору полігонів є такі: обсяги накопичених відходів – більше 1 млн. т; глибина полігону – більше 10 м. Інформація щодо деяких полігонів ТПВ, які відповідають зазначеним критеріям, наведена в табл. 7.7.

*Таблиця 7.7 – Полігони ТПВ, які відповідають критеріям відбору для впровадження проекту зі збирання та утилізації біогазу в Україні*

Місто	Населення, тис. чол.	Початок експлуатації	Обсяг ТПВ, млн. т/рік	Площа, га	Глибина, м
Луганськ	505	1979	1,6	8,4	20 – 25
Одеса	1096	1972	5,3	30,0	22 – 25
Харків	1622	1975	2,2	20,8	30
Київ	2642	1986	7,5	35,5	до 20
Львів	807	1959	8,4	33,3	35
Полтава	324	1953	2,7	17,4	20 – 30
Хмельницький	250	1956	3,0	8,8	35
Біла Церква	208	1940	2,0	10,7	10 – 20

Потенціал газоутворення, в свою чергу, залежить від морфологічного складу та часу функціонування полігонів. Польові дослідження, проведені вітчизняними науковцями, довели, що анаеробний розпад органічної речовини в тілі полігону може тривати десятиліттями, причому, інтенсивність цього процесу досягає максимуму вже через 1 рік після закриття відходів ізолюючим шаром ґрунту і перебуває практично на одному рівні протягом 5...6 років, а далі плавно спадає. Для практичних розрахунків можна вважати, що 42,5% біогазу виділяється за перші 6 років і ще 57,5% – за наступні 15 років. Протягом перших 15...20 років 1м<sup>3</sup> ТПВ при розкладанні виділяє 1,0...1,5 м<sup>3</sup>/рік біогазу. Надалі інтенсивність виділення біогазу зменшується. Період повного розкладання становить близько 50 років.

#### **7.1.7. Генерація біогазу з відходів тваринництва і птахівництва**

Надзвичайно придатною сировиною для заводів з виробництва біогазу є гній ВРХ, свинячий гній та курячий послід, оскільки основна бактерія, що виробляє метан, вже міститься в шлунку тварин. Однак, специфічне виробництво газу нижче, а вміст метану становить близько 60...65% через попереднє бродіння в шлунку.

Збір і вивіз гною великої рогатої худоби і свинячого гною, та курячого посліду з ферм – є предметом державного регулювання відповідно до

Державних норм технологічного проектування. Тип вивозу (механічного або гідравлічного) також впливає на склад гною і його подальші енергетичні характеристики. Крім того, дані державні норми також визначають добові норми виходу екскрементів ВРХ, свиней та курей. У нашому аналізі ми спираємося на ці норми, як на основне джерело для визначення потенціалу біогазу на основі кількості поголів'я худоби на сільськогосподарських підприємствах України.

У 2008 році налічувалося близько 5,1 млн. голів великої рогатої худоби, 6,5 млн. голів свиней та 177,6 млн. голів птиці в Україні. Значна кількість великої рогатої худоби та свиней все ще утримуються у приватних домогосподарствах. Крім того, існує безліч дрібних сільськогосподарських підприємств, які мають невелику кількість худоби, однак не можуть вважатися надійними постачальниками сировини через складності збору тваринних відходів. Якщо не враховувати приватні домогосподарства під час нашої оцінки потенціалу, то у сільськогосподарських підприємствах, які можна розглядати як потенційних постачальників сировини (відходи тваринництва) для виробництва біогазу в Україні, налічується близько 34% великої рогатої худоби, 42% свиней і 50% птахів.

Для того, щоб забезпечити сировиною біогазовий завод із встановленою електричною потужністю 0,5 МВт, необхідно принаймні 2 тис. (дійних) корів, або 25 тис. постійного поголів'я свиней, або 250 тис. курей-несучок (або 500 тис. бройлерів). На 1 січня 2009 лише близько 3% з усіх сільськогосподарських підприємств в Україні мали достатню кількість ВРХ для забезпечення виробництва біогазу з власної сировини. Зокрема, 107 сільськогосподарських підприємств мали поголів'я ВРХ понад 2 тис. голів; 199 – поголів'я птахів понад 50 тис. голів, і 65 – поголів'я свиней понад 6 тис. Інші сільськогосподарські підприємства можуть розглядатися, як потенційні постачальники гною для виробництва біогазу, за умови групування їх відходів. В такому випадку гній тварини стає товаром з певною грошовою вартістю на ринку. Крім того, виробник біогазу повинен нести значні витрати на логістику для збору та доставку даних відходів до біогазового заводу.

До 20 березня 2009 на українських сільськогосподарських підприємствах в цілому було близько 3,1 млн. тонн гною великої рогатої худоби, 0,874 млн. т гною свиней і 0,558 млн. т пташиного посліду. У середньому гній може містити 75% води в залежності від типу збору і виду худоби. Тому, для розрахунку потенційного виходу біогазу точніше було б використовувати дані на основі сухого гною. Кількість гною кожної тварини залежить також від її віку. Беручи все вищесказане до уваги, було розраховано вихід сухого гною за різними віковими групами великої рогатої худоби та свиней (табл. 7.8).

**Таблиця 7.8 – Розрахунок потенціалу виробництва біогазу на основі сухих летючих речовин (VS)**

Тварини	Кількість тварин на с/г підприємствах, тис. голів (за 2008 рік)	Кількість VS на голову, кг/24год.	Загальна кількість VS в Україні, тон/24 год.	Ступінь ферментації VS, одиниць	Вихід біогазу на кг VS, м <sup>3</sup> /24 год.	Загальний вихід біогазу, тис. м <sup>3</sup> /24 год.
Велика рогата худоба, всього	1720,1		5890,32	0,35	0,4	824,644
Свині, всього	2730,9		1442,71	0,4	0,8	461,67
Кури та півні	85720	0,036	3085,92	0,45	0,9	1249,8

\*  $VS = DM - (1 - ASH)$ , де VS це сухі летючі речовини (кг на голову за 24 год.), DM – сухий гній (кг на голову за 24 год.), ASH це частка золи у гної (коефіцієнт).

Загальний потенціал сухого гною, що може бути отриманий з відходів великої рогатої худоби, свиней і курей в Україні становить 12,5 тис. тонн за добу. Потенціал сирого гною в цілому становить 84,8 тис. тонн за добу. Вологість сирого гною і гною, що використовується на біогазових заводах, різниться. Тому, розрахунки ґрунтуються на консервативній методології летючих речовин, де враховується суха частка субстрату. Таким чином, з існуючої кількості сухої маси гною в Україні може бути вироблено 2,5 млн. м<sup>3</sup> біогазу за добу.

Ґрунтуючись на кількості голів та віковій структурі тварин у 2008 році, український щорічний потенціал виробництва біогазу з гною великої рогатої худоби, свиней та курячого посліду складає 926 млн. м<sup>3</sup>. Коли 1 м<sup>3</sup> біогазу відповідає 1,5–3 кВт год. електроенергії, 926 млн. м<sup>3</sup> можна перевести приблизно у 1,39–2,78 млрд. кВт год. електроенергії, що становить близько 1% поточного виробництва електроенергії в Україні.

#### **7.1.8. Генерація біогазу з відходів рослинництва**

Рослинними сільськогосподарськими відходами, що використовуються для виробництва біогазу, є кукурудзяний силос, фруктовий і буряковий жом, меляса, барда зернова і мелясна, пивна дробина та ін. Найбільш ефективно піддавати анаеробної обробці кукурудзяну зерностержневу суміш, силосну і зелену масу подрібнену соломі злакових культур.

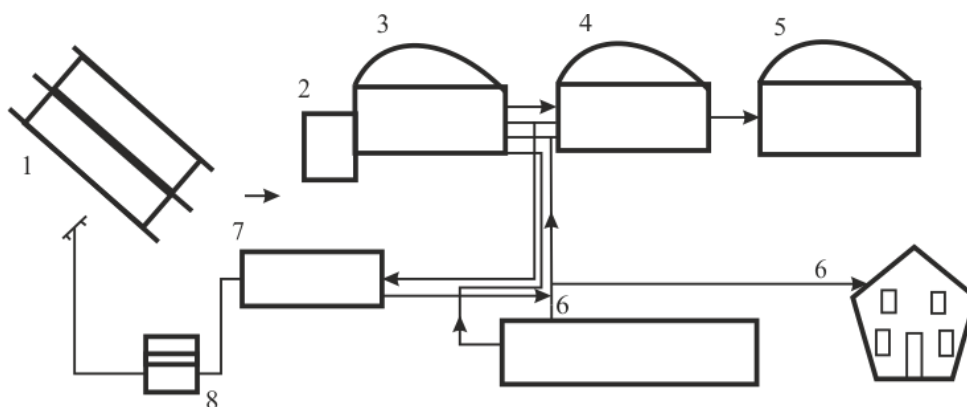
У табл. 7.9 представлені дані по виходу біогазу з різних відходів рослинного походження (субстратів).

Таблиця 7.9 – Вихід біогазу з різних рослинних субстратів

Субстрат	Вихід біогазу з 1 тонни субстрату, м <sup>3</sup>
Силос кукурудзяний	400
Свіжа трава	500
Фруктовий жом	70
Буряковий жом	50
Меляса	430
Бурякова гичка	400
Барда зернова	70
Барда мелясна	50
Птвна дробина	160
Відходи коренеплодів	400

Експериментально встановлено, що використання рослинних відходів в якості єдиного або основного компонента зброджуваного субстрату вважається нераціональним. Найбільш вигідним є анаеробне зброджування субстратів, що представляють собою суміш, наприклад, гною або пташиного посліду і коферментів, якими можуть бути відходи рослинництва і харчопереробних галузей.

В даний час існує близько 60 різновидів біогазових технологій. На рис. 7.2 наведено схему виробництва біогазу з рослинної сировини за технологією фірми «Biogaz PlanET» (Німеччина).



- 1 – місце для накопичення і зберігання біомаси; 2 – воронкоподібний бункер для завантаження біомаси; 3 – ферментатор; 4 – пост-ферментатор; 5 – ємність для дигестата; 6 – споживачі теплової енергії; 7 – машинний зал електростанції; 8 – енергоспоживач

Рис. 7.2 – Схема біогазової установки «BiogazPlanET»

Основу технології складає біологічна реакція розкладання субстрату на метан і вуглекислий газ в ферментаторі. Технологічний процес істотно прискорюють активні мікроорганізми, задіяні у виробництві біогазу.

В ємності для дигестата субстрат перетворюється у високоякісне добриво, яке може застосовуватися на полях. Теплова енергія від реакції

може бути використана для опалення житлових будинків і тваринницьких приміщень, а також на продаж (після попереднього перетворення в електричну).

Нижче в табл. 7.10 наведено технічні характеристики типових біоенергетичних установок.

**Таблиця 7.10 – Технічна характеристика типових біоенергетичних установок**

Показник	Об'єм біореактора, м <sup>3</sup>						
	5	10	25	50	100	200	400
Продуктивність за добу, м <sup>3</sup> :							
по сировині	1	2	5	10	20	40	80
по газу	20...80	40...60	100...150	200...300	400...6000	800...1200	1600...2400
Еквівалентна теплова продуктивність, кВт	5...8	10...15	23...27	40...60	100...150	200...300	400...600

Біоенергетичні установки призначені для переробки відходів сільськогосподарського виробництва та харчової промисловості. Дозволяють утилізувати відходи в зонах виробництва та переробки сільгосппродуктів, поліпшити екологічну обстановку, отримати додаткові енергетичні ресурси на основі місцевого відновлюваної сировини.

## **7.2. Біодизель**

### **7.2.1. Сьогодення і перспективи виробництва біодизельного палива в Україні**

У Законі України «Про основні засади державної політики на період до 2015 року» від 18 жовтня 1995 р. № 2982–IV вказано на необхідність розроблення та виконання програми розвитку виробництва дизельного біопалива. Державна політика щодо такого виробництва полягає у проведенні органами державного управління комплексу стратегічних і тактичних дій, спрямованих на створення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції. Основна мета цього напряму – сприяння стабільності та ефективності означеного вище виробництва.

Проблема енергетичного забезпечення аграрно-промислового комплексу суттєво загострилася, тому втрати в аграрному секторі становлять значні обсяги. Значення забезпечення енергоресурсами агропромислової сфери постійно зростає через підвищення цін на нафту. Тому енергетичне

забезпечення для АПК є головним чинником самоствердження в новій інноваційній якості.

Нинішньому ринку продовольчих товарів України притаманна, на жаль, наявність протиріч і деформацій його структур. Негативні наслідки цього виявляються у значному скороченні обсягів виробництва продовольчих товарів, звуженні ринкових відносин, а також у гальмуванні розвитку АПК.

Якість життя населення практично не поліпшується, споживання основних продовольчих товарів зменшується, однак витрати на купівлю продовольчих товарів зростають. Частка таких витрат в Україні становить майже 70%.

Економістами доведено, що 50%-ва частка зазначених витрат свідчить про низький життєвий рівень населення і є одним із показників бідності. Для порівняння: у другій половині 90-х років у США витрати на продовольчі товари становили менше 10% від обсягу загальних споживчих витрат. В інших розвинених країнах вони коливаються в межах 15 до 20%.

За калорійністю харчування Україна за роки кризи перейшла від рівня розвинутих країн до нижньої межі продовольчої безпеки (2500 ккал), а за споживанням протеїнів тваринного походження опинилася нижче цієї межі. Наприклад, у США середньодобовий раціон харчування становить 3630 ккал на душу населення, у тому числі 1307 ккал припадає на їжу тваринного походження. За загальною калорійністю раціон пересічного американця перевищує аналогічний показник в Україні на 43%, а за споживанням продуктів тваринного походження – майже у 2,5 раза.

Задоволення на більш високому рівні потреб у продукції сільського господарства загалом, а також тієї, що призначена для продовольчого забезпечення та для виробництва біодизельного палива, потребує якіснішого розвитку виробництва харчових продуктів з його удосконаленням і поліпшенням результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання зазначеної проблеми, показує, що матеріальним підґрунтям економічного розвитку країни стає кількість основного капіталу і технологій – основних елементів продуктивних сил. Саме вони роблять можливим розвиток виробництва. Лише високий рівень їх розвитку за наявності необхідної великої кількості високоякісних виробничих ресурсів, включаючи передовий технологічний потенціал, дає змогу збільшити обсяги виробництва сільськогосподарської продукції.

Зростання та відтворення засобів виробництва та його продуктивних сил перш за все потребує стратегії інтенсивного його розвитку з найповнішим використанням необхідних ресурсів. Останні мають стати підґрунтям перспективного розвитку економіки.

АПК має знайти безкомпромісну позицію щодо узгодженої надійності продовольчої безпеки країни зі спрямуванням рослинної сировини для виробництва біодизельного палива. Продовольчу безпеку потрібно

розглядати з позицій гарантування населенню вільного доступу до продуктів харчування за доступними цінами.

Нині істотні зміни відбуваються й у виробництві олійних культур і у зростанні та відтворенні їх. Ці складні, досить неоднозначні процеси потребують системного дослідження. Сьогодні численні пояснювальні прийоми, в тому числі і в наукових колах, щодо вирощування олійних культур і як продовольчого продукту, і як сировини для виробництва біодизельного палива, що їх використовували протягом десятиліть, виявилися зовсім не виправданими. Вони практично не сприяють розумінню тих процесів, що відбуваються у світовій економіці.

Для комплексної реальної оцінки ситуації на системних засадах без ускладнення методології розвитку паливно-енергетичних ресурсів потрібно проаналізувати наукові праці. З урахуванням цього визначено перелік не вирішених раніше частин загальної проблеми.

Сутність їх полягає у наступному. Не розглянуто розвитку ринків олійних культур і продукції їх переробки загалом у світі та в Україні у двох взаємопов'язаних площинах – у сільському господарстві та переробній галузі промисловості. Відходи від вирощування олійних культур можна використовувати як сировину для виробництва біодизельного палива. Проте це виробництво ще не зорієнтовано так, як того вимагає час – на міжнародні стандарти.

Не визначено основні чинники, що зумовлюють інтенсивний розвиток ринку біодизельного палива та особливості формування та функціонування ринку олійних культур. Не опрацьовано питання на подолання протиріч у розвитку цього ринку. Не розглянуто аспект одночасного збільшення обсягів виробництва біодизельного палива та обсягів продовольчих ресурсів у комплексі.

Цілком очевидно, що не можливо збагнути сутність виробництва біодизельного палива, залишаючись у колі колишніх концепцій виробництва взагалі. Важливо визначити перспективи нових тенденцій і напрямів трансформації виробництва олійних культур.

Щодо окреслення цілей питання, то, з урахуванням усього викладеного, до них варто віднести такі завдання:

- зіставити тенденції розвитку стосовно обсягу валового збору олійних культур, рівень продуктивності, абсолютний приріст, у тому числі за рахунок підвищення продуктивності і за збільшенням обсягу валового збору олійних культур загалом у світі і в Україні і за результатами такого ґрунтового аналізу визначити найбільш прийнятний тип так званого «міжнародного стандарту»;

- з'ясувати характер основних чинників, що зумовлюють інтенсивний розвиток біодизельного палива і на цих засадах віддзеркалити перспективні напрями вдосконалення зростання та відтворення ринку олійних культур як сировини для виробництва біодизельного палива.



Щоб з'ясувати та зіставити рівні обсягів виробництва олійних культур в Україні й у світі, а також визначитися зі зростанням і відтворенням ринку олійних культур в Україні на перспективу, використовуємо індексний метод. Нагадаємо, що індекс – це відносна величина, що характеризує зміну явища у часі, просторі або ступінь відхилення від стандарту. Як відносна величина індекс подається у формі коефіцієнта. Назва індексу вказує на його економічний зміст, а числове значення – інтенсивність зміни або ступінь відхилення.

Індекси виконують дві функції: синтетичну – узагальнююча характеристика зміни явища; аналітичну – вивчення впливу окремих факторів на зміну явища. Більшість індексів виконує обидві функції одночасно.

У табл. 7.11 наведено дані для розрахунку взаємозалежних індексів виробництва олійних культур у світі.

**Таблиця 7.11 – Індекси виробництва олійних культур у світі**

Культура	Площа збирання, млн.га		Урожайність, т/га		Валовий збір, млн.т		
	базисний період – до 2003 р., $q_0$	поточний період після 2003 р., $q_1$	базисному $p_0$	поточному $p_1$	$p_0q_0$	$p_1q_1$	$p_0q_1$
Соняшник	21	22	1,2	1,3	25	29	26
Ріпак	25	27	1,5	1,7	38	46	41
Соя	71	92	2,2	2,4	156	221	202
Разом	–	–	×	×	219	296	269

Індекс валового збору олійних культур:  $1\ pq = 296/219 = 1,35$  показує, що обсяг валового збору загалом збільшується на 35 %.

Як свідчить індекс урожайності цих культур:  $1\ p = 296/269 = 1,10$ , для соняшнику; для ріпаку та сої вона вища у середньому на 10 відсотків.

Індекс фізичного обсягу становить  $1\ q = 269/219 = 1,228$ , тобто обсяг отриманого валового збору олійних культур (соняшнику, ріпаку та сої) збільшився у середньому на 22,8 відсотка.

Добуток взаємозалежних індексів валового збору олійних культур загалом становить:  $pq = 296 - 219 = 77$  млн.т, у тому числі за рахунок підвищення урожайності:  $p = 296 - 269 = 27$  млн.т, а завдяки збільшенню валового збору:  $q = 269 - 219 = 50$  млн.т.

У табл. 7.12 наведено дані для розрахунку взаємозалежних індексів виробництва олійних культур в Україні.

Таблиця 7.12 – Взаємозалежність індексів виробництва олійних культур в Україні

Культура	Площа збирання, млн.га		Урожайність, т/га		Валовий збір, млн.т		
	базисний період – до 2003 р., $q_0$	поточний період після 2003 р., $q_1$	базисному $p_0$	поточному $p_1$	$p_0q_0$	$p_1q_1$	$p_0q_1$
Соняшник	3,8	3,9	1,2	1,3	4,6	5,0	4,7
Ріпак	0,1	0,2	1,0	1,4	0,1	0,3	0,2
Соя	0,2	0,3	1,3	1,6	0,3	0,4	0,4
Разом	–	–	×	×	5,0	5,8	5,3

Індекс валового збору цих культур  $1 p q = 5,8/5,0 = 1,16$  показує, що його обсяг загалом має збільшуватися на 16 відсотків.

Як свідчить індекс врожайності  $1 p = 5,8/5,3 = 1,09$ , урожайність по соняшнику, ріпаку та сої в Україні має зростати у середньому на 9%.

Індекс фізичного обсягу становить:  $1 q = 5,3/5,0 = 1,06$ , тобто обсяг отриманого валового збору олійних культур (соняшнику, ріпаку та сої) збільшився в середньому на 6 відсотків.

Добуток взаємозалежних індексів підтверджує результат розрахунку:  $1 p q = 1,09 \times 1,06 = 1,16$ .

Абсолютний приріст обсягу валового збору олійних культур загалом становить:  $p q = 5,8 - 5,0 = 0,8$  млн.т., у тому числі за рахунок підвищення урожайності:  $p = 5,8 - 5,3 = 0,5$  млн.т., за рахунок збільшення обсягів валового збору:  $q = 5,3 - 5,0 = 0,3$  млн.т.

Застосування методики оцінки зростання і відтворення обсягів олійних культур як сировини для виробництва біодизельного палива за критеріями «міжнародного стандарту» має сприяти тому, щоб не загострювати суперечки, які ще точаться до останнього часу стосовно раціонального спрямування обсягів соняшнику, ріпаку та сої на продовольчі цілі і на цілі виробництва біодизельного палива.

Більшість розвинутих країн за основу наукових пріоритетів щодо виробництва біопалив беруть пошук шляхів використання енергоресурсів поновлюваної енергії, накопиченої живою речовиною завдяки фотосинтезу. Особлива увага приділяється енергетичним сільськогосподарським культурам та біомасі рослин, що мають вагомні переваги над викопними вуглеводами. Для збереження природних ресурсів та поліпшення екології наукою пропонується замкнутий цикл обміну споживання і відтворення енергії. Зазначеній вимозі відповідає використання палива на основі біоетанолу та біодизелю, які зайняли значний сегмент світового ринку енергоносіїв і щороку він набуває дедалі більшого значення.

Завдяки спалюванню біопалива відбувається природний обмін речовин – вуглекислий газ ( $CO_2$ ) знову поглинається рослинами.

Виробництво біодизельного палива нарощується переважно за рахунок ріпакової та соєвої олії, а біоетанолу здебільшого за рахунок кукурудзи та інших зернових культур. Цьому сприяли відповідні директиви, в яких, з одного боку, регламентується обов'язкове використання домішок до бензину етанолу та біодизельного палива, а з іншого, – створення економічних умов для сприяння виробництву цих джерел енергії. Технологічний процес переробки насіння ріпаку у біодизельне паливо передбачає чітку організацію матеріальних потоків, тобто кластерне об'єднання юридичних осіб (рис. 7.3).

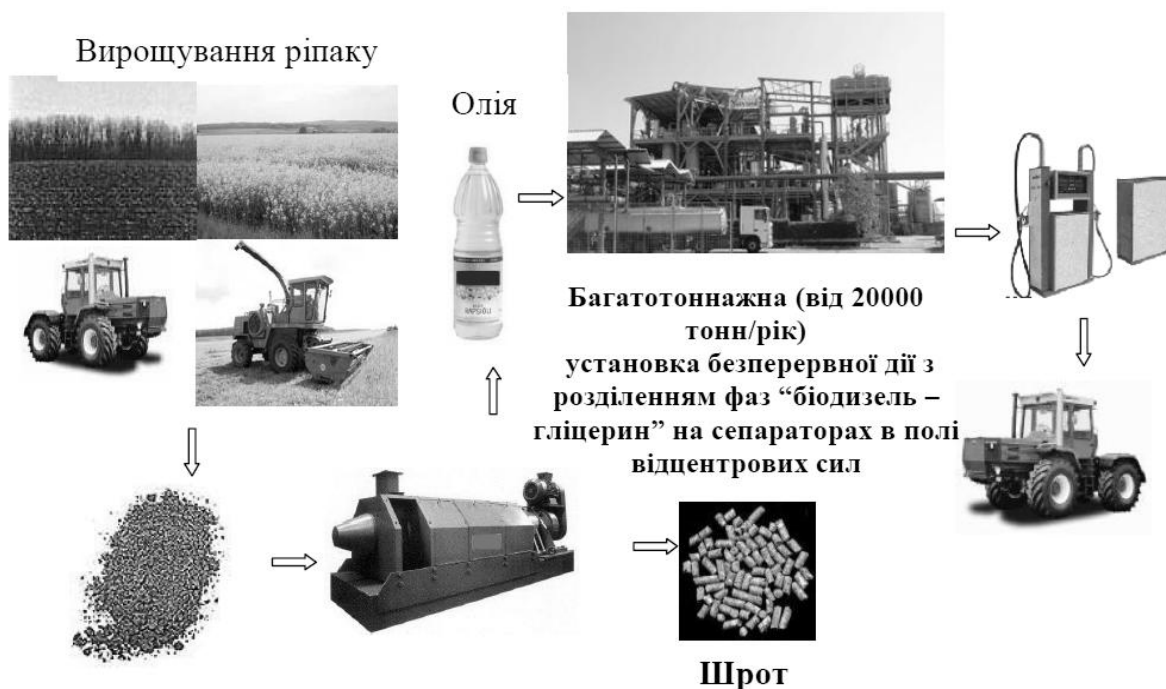


Рис. 7.3 – Кластерне об'єднання юридичних осіб з виробництва біодизелю

Для України одним з найбільш потенційних і незадіяних джерел відновлюваної енергії є виробництво рідких біопалив з біомаси (сільськогосподарські культури, деревинні культури, трав'яні рослини).

Ґрунтово-кліматичні умови України є сприятливими для виробництва сільськогосподарських культур як біосировини в усіх регіонах, зокрема: кукурудзи, тритикале, пшениці озимої, різних видів сорго, проса, цукрових буряків, соняшнику, ріпаку, а також використання відходів сільського і лісового господарства.

Рекордсменом з накопичення енергії на гектар площі в наших умовах є картопля, однак не розв'язано проблеми її зберігання протягом тривалого часу до переробки.

В Україні є можливості задіяти достатню кількість потужностей спиртових, цукрових, дріжджових заводів і цехів, а також олієжирових комбінатів для виробництва біопалив. Так, загальна потенційна потужність

спиртових заводів нині становить близько 600 тис. т на рік, потреби України у підакцизному (харчовому, парфумерному) спирті – 250...300 тис. т, тобто існуючі «зайві» спиртозаводи можуть теоретично виробити близько 300 тис. т біоетанолу.

Внутрішній ринок біоетанолу може сягнути 800...1200 тис. т на рік за умови, що він замінить 10...15% вуглеводневої частини бензинів, що споживаються в Україні. Європейський простір є ще більшим потенціалом для експорту біоетанолу.

Для створення системи стратегічного управління процесами кластеризації у сфері виробництва біопалив, необхідно провести аналіз організаційно-технологічних змін, визначити ключові фактори успіху, розробити механізм кластеризації регіонів, організувати моніторинг стану розвитку кластерів у регіонах з метою вжиття заходів щодо забезпечення їхньої життєдіяльності та розвитку в перспективі.

Кластеризація як основа аграрної політики регіону повинна орієнтуватись на першочерговий розвиток аграрного виробництва у найбільш розвинутих районах, не знижуючи рівень виробництва в інших районах. На основі зробленої стратегії аграрного виробництва області, слід визначити потенціал рівня розвитку району, зокрема, наявність ресурсної бази, трудових ресурсів, транспортної інфраструктури, інноваційних проектів розвитку галузей сільського господарства і переробних підприємств. Названі критерії дозволять визначити високоперспективні, середньо перспективні і недостатньо перспективні райони, тобто визначити етапність формування кластерів з виробництва біопалив.

Водночас разом із переходом на використання біопалива необхідно здійснити модернізацію автозаправних станцій і мереж збуту продукції, а також зацікавити вітчизняних нафто трейдерів, які є власниками заправок, у виході на цей ринок. Вихід на ринок автозаправних послуг нових учасників, які є власниками спиртових заводів або олієжирових комбінатів, супроводжує конкуренцію потужних гігантів, кожен з яких у своїй галузі має непогані прибутки, аби відстоювати свої позиції.

Об'єднання підприємств у регіональні кластери із замкнутим технологічним циклом виробництва біопалива за схемою «виробництво біосировини – переробка біосировини – виробництво біопалива – реалізація біопалива» з чітко налагодженим плануванням виробництва і централізованим фінансуванням усіх робіт із виробництва біоенергетичної сировини та біопалива дає змогу створити належні умови для стабільної роботи об'єднаних підприємств та зниження собівартості виробництва біопалива шляхом розміщення на цих підприємствах корпоративних замовлень.

Наприклад, для формування кластеру з виробництва біодизельного палива доцільно, щоб до його складу увійшли такі профільні підприємства та установи:

- науково-освітні установи, які здійснюють наукові дослідження з проблем виробництва альтернативних палив;

- підприємства сільського господарства із виробництва ріпаку, де його виробництво не буде основним видом продукції, а замовленням на певну кількість насіння товарного ріпаку для завантаження потужностей підприємств кластера, що переробляють насіння на олію;

- переробні підприємства із переробки насіння на олію, де виробництво ріпакової товарної олії для цього підприємства не буде основним видом продукції, а лише замовленням кластера на певний обсяг олії для завантаження підприємств кластера із виробництва біодизельного палива;

- підприємства-виробники, що переробляють олію на біодизельне паливо, де виробництво біодизельного палива буде основним видом продукції (підприємства-виробники біодизельного палива);

- підприємства, що здійснюють реалізацію біодизельного палива.

Інтегратором кластеру з виробництва біодизельного палива можуть бути науково-освітні установи або підприємства-виробники біопалива.

Виробництво біодизельного палива кластерне формування планує таким чином, щоб взаєморозрахунки між своїми підприємствами зумовлювали стимулюючий характер виробництва біоенергетичної сировини, а саме:

- для зменшення енергетичного складника собівартості основної продукції (у тому числі і самого ріпаку) кластерні підприємства – виробники біодизельного палива, мають у першу чергу передавати підприємствам сільського господарства, які є членами кластерного формування і спеціалізуються на виробництві насіння ріпаку, за ціною на рівні собівартості частину своєї продукції (біодизельне паливо) в обсягах, які б покривали енергетичні потреби цих підприємств;

- переробні підприємства – виробники ріпакової олії мають упершу чергу передавати підприємствам-виробникам насіння ріпаку частину своєї побічної продукції за ціною на рівні собівартості – шрот в обсягах, які б в основному покривали потреби у кормах цих кластерних підприємств – виробників насіння ріпаку.

Зазначений комплексний підхід до розв'язання проблеми взаєморозрахунків і водночас ціноутворення на біодизельне паливо дає можливість суттєво зменшити основні складові вартості біодизельного палива завдяки досягненню підвищення врожайності ріпаку з 1 га посівної площі, зниженню рівня собівартості його вирощування, зменшенню вартості переробки ріпаку на олію, виробництву побічних, крім біодизельного палива, продуктів переробки ріпаку – харчового, кормового, фармацевтичного та іншого спрямування.

У рамках кластерного об'єднання виробників і переробників біоенергетичної сировини у більшості районах України на базі комплексних багатofункціональних технологічних ліній є можливість включити виробничі потужності господарюючих суб'єктів усіх форм

власності і господарювання з вирощування високоенергетичних культур та їхньої переробки. Це сприятиме нарощуванню земельних ресурсів для виробництва біосировини, створенню та розвитку виробничої інфраструктури вирощування насінневої продукції ріпаку, створенню та розвитку інфраструктури виробництва ріпакової олії, біодизельного палива та інфраструктури застосування біопалива в транспортній галузі.

У нинішній фінансово-економічній ситуації, що склалася в аграрній сфері, необхідна державна підтримка розвитку виробництва біопалива на засадах кластеризації щодо захисту від ризиків на етапі проведення пілотного проекту і в перші роки становлення кластерів біоенергетичної галузі України.

### **7.2.2. Процеси переробки рослинної олії для виробництва біодизельного палива**

Для триацилгліцеридів можливе протікання хімічних реакцій як за участю кратних зв'язків вуглеводневої радикала, так і за складно ефірної групи.

Важливою властивістю ненасичених вуглеводневих радикалів триацилгліцеридів є здатність приєднувати водень по ненасиченим зв'язків в присутності каталізаторів (платинових, паладієвих та ін.), з утворенням триацилгліцеридів граничних аліфатичних кислот. Ця реакція використовується для отримання маргарину і кулінарного жиру. Для виробництва рідкого палива реакція непридатна, оскільки триацилгліцериди граничних кислот мають високі температури плавлення і при 20°C являють собою тверді речовини.

Рослинні олії окислюються киснем повітря з утворенням перекисних сполук, оксикислот та інших продуктів. Під дією високих температур (250...300°C) відбувається їх термічний розпад з утворенням акролеїну та інших продуктів.

Складні ефіри можуть гідролізуватись за складноєфірним зв'язком з утворенням гліцерину і жирних кислот.

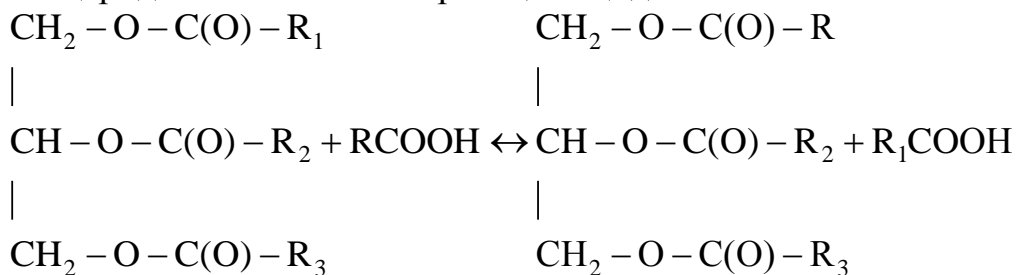
Процес прискорюється при підвищених температурах і тиску (безреактивне розщеплення), а в організмі під дією ферменту ліпази. При дії водних розчинів лугів внаслідок гідролізу утворюється гліцерин (при надлишку лугу – гліцерат натрію) і солі вищих аліфатичних кислот (мила). Проте ні гліцерин, ні карбонові кислоти, ні тим більше мила в чистому вигляді не представляють інтересу як альтернативні палива: гліцерин через свою високу в'язкість, карбонові кислоти – через високу корозійну агресивність, натрієві мила являють собою тверді речовини, калієві – густі в'язкі рідини.

Ще однією важливою властивістю складноєфірної групи є її здатність вступати в реакції обміну з кислотними або спиртовими групами, ці реакції в загальному вигляді називають реакціями переетерифікації, оскільки в результаті з вихідних складних ефірів виходять з'єднання того ж класу – складні ефіри, які мають іншу будову.

До реакцій переестерифікації відносять реакції алкоголіз, ацидоліз і, власне, переестерифікації. Зазначені реакції протікають тільки в присутності каталізаторів – сильних мінеральних кислот ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ) і кислот Льюїса ( $BF_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $CaCl_2$ ,  $ZnO$ ,  $PbO$ ). Реакції алкоголіз і переестерифікації ще більш ефективно прискорюються за сильних основ, таких, як  $CH_3ONa$ ,  $KOH$ .

#### Реакція ацидоліз

Якщо в реакцію вступають складний ефір і кислота, то в результаті виходить новий ефір, що містить залишки кислоти і спирт вихідного ефіру, щовступили в реакцію; тобто відбувається обмін ацильними радикалами між триацилгліцеридами і кислотою – реакція ацидоліз.



Швидкість ацидолізу і положення рівноваги цієї реакції залежать від співвідношення активностей кислот, що знаходяться в триацилгліцериді і діючих на нього. Ацидоліз посилюється і поглиблюється при збільшенні активності діючих на триацилгліцерид кислот. Так, нагріваючи триацилгліцериди високомолекулярних жирних кислот з оцтовою або олійною кислотами, можна в них частину високомолекулярних кислот замінити вищевказаними низькомолекулярними кислотами. Кількість введених низькомолекулярних кислот залежить від їх активності і відносної кількості.

Якщо взяти для проведення реакції ацидоліз вищі аліфатичні кислоти (великої молекулярної маси), то в цьому випадку ми отримуємо продукт, що є аналогом рослинного масла. Якщо для реакції використовувати кислоти невеликої молекулярної маси, наприклад оцтову кислоту, то отриманий триацетат гліцерину матиме доволно високу температуру кипіння ( $258...260^\circ C$ ), що відповідає середній частині фракційного складу товарного нафтового палива ( $160...360^\circ C$ ), але, через високу частку кисню в цьому з'єднанні його теплота згоряння буде невисокою.

Так, формула триацетилгліцерида:  $C_9H_{14}O_6$ .

Тоді за формулою Менделєєва:

• Нижча теплота згоряння триацилгліцерида, МДж/кг

$$Q_n = 34,013 \times 0,495 + 125,6 \times 0,065 - 10,9 \times 0,44 - 2,512 \times 9 \times 0,1205 = 18,72 \text{ МДж/кг};$$

• Вища теплота згоряння триацилгліцерида, МДж/кг

$$Q_v = 34,013 \times 0,495 + 125,6 \times 0,065 - 10,9 \times 0,44 = 20,198 \text{ МДж/кг}.$$

Для порівняння, нижча теплота згоряння нафтового дизельного палива приблизно 42,5 МДж/кг, вища – близько 45,9 МДж/кг.

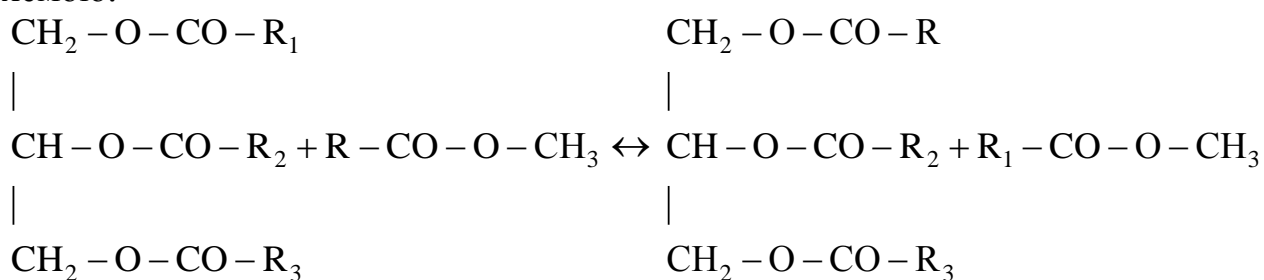
Таким чином, використання продуктів ацидоліза в якості біодизельного палива недоцільно.

### Реакція переетерифікації

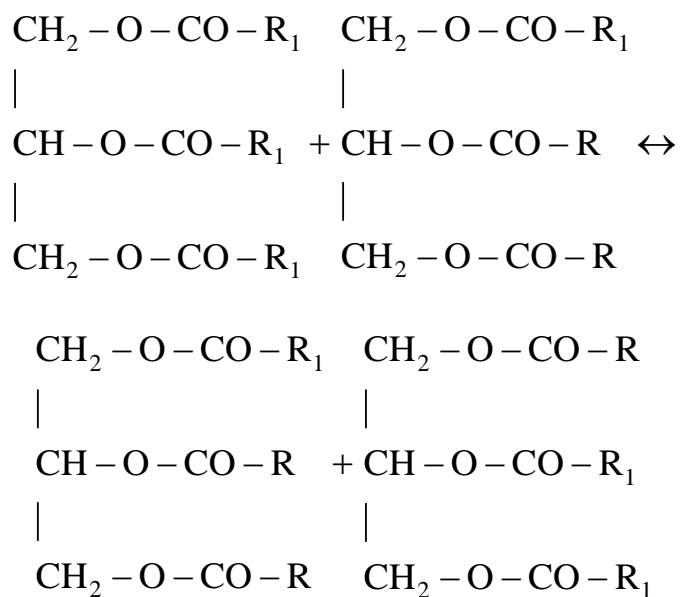
Переетерифікацією називається реакція обміну ацил при взаємодії молекул двох різних складних ефірів.

Розрізняють два види переетерифікації – між- і внутрішньомолекулярних. Міжмолекулярна переетерифікація може протікати по зовні різними схемами залежно від складу спиртів складних ефірів. Загальна схема процесу переетерифікації складних ефірів, що відрізняються складом їх жирних кислот, представлена формулою  $R_1 - CO - O - R_2 + R_3 - CO - O - R_4 \rightarrow R_1 - CO - O - R_4 + R_3 - CO - O - R_2$ .

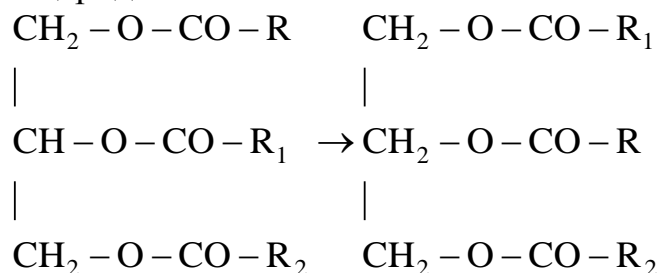
Переетерифікація даного типу можлива між молекулами складних ефірів багатоатомного спирту (гліцерину) і одноатомного (метанолу) за схемою:



Між молекулами триацилгліцеридів різного складу вона протікає в такий спосіб:



Внутрішньомолекулярна переетерифікація полягає в переміщенні ацилов в молекулі складного ефіру багатоатомного спирту, наприклад в молекулі триацилгліцеридів.





Без каталізаторів переетерифікація протікає з помітною швидкістю лише за температури 250°C і вище. Вона зазвичай супроводжується більшим чи меншим термічним розпадом ефірів. Каталізатори прискорюють переетерифікацію і дозволяють вести її при більш низькій температурі, знижуючи або навіть запобігаючи термічному розпаду ефірів. В якості каталізаторів застосовують сірчану кислоту, сульфокислоти, луги, алкоголяти, деякі метали, як цинк, олово, їх мила. При застосуванні зазначених металів переетерифікація з досить великою швидкістю протікає за температури 210...230°C.

Найбільш сильно діють алкоголяти лужних металів, що застосовуються в кількості 0,1...0,25% від маси попередньо висушених ефірів. У присутності алкоголятів лужних металів, особливо з веденням переетерифікації в розчинниках, вона може протікати з великою швидкістю і за температури близько 0°C.

Як показують дослідження, в ряді жирів рослинного походження розподіл жирних кислот в триацилгліцерині 100%-го розподілу не спостерігається. Тому при сильному нагріванні таких жирів, особливо в присутності каталітично діючих речовин, повинна відбуватися переетерифікація їх триацилгліцеридів, завдяки якій розподіл жирних кислот в триацилгліцериді має відповідати статистичному. Зазвичай в результаті цього різко змінюється вміст у жирі тринасичених гліцеридів.

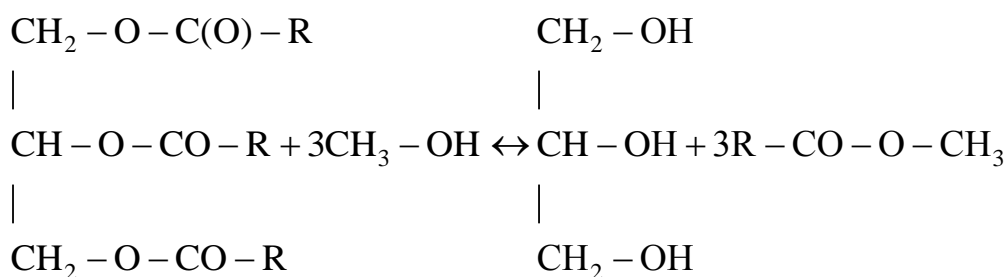
Таким чином, очевидно, що обмін кислотними залишками між молекулами триацилгліцеридів призводить до виникнення молекул, будова яких аналогічна будові триацилгліцеридів рослинних олій і використовувати цю реакцію для отримання біодизельного палива недоцільно.

#### *Реакція алкоголіза*

До реакцій алкоголіза відносять реакції між складним ефіром і спиртом, в результаті якої утворюються нові складні ефіри, до складу яких входить спирт і залишок кислоти вихідного ефіру – відбувається перехід ацильних радикалів ефіру до молекули спирту. Розрізняють, залежно від використовуваного спирту, реакції метаноліза, гліцероліза тощо.

Триацилгліцериди при нагріванні з нейтральним метиловим або етиловим спиртами навіть при кип'ятінні майже не змінюються. Але якщо до олії, нагрітої приблизно до 80°C, при перемішуванні прилити метиловий спирт, в якому розчинено трохи гідроксиду калію (приблизно 0,9 н. розчин), то через кілька хвилин з розчину, що утворився гліцерин виділяється у вигляді окремої фази. Аналізи показують, що в спиртовому розчині над шаром гліцерину виявляються метилові ефіри жирних кислот вихідної олії з невеликою кількістю моно-, ди- і триацилгліцеридів.

Протікання реакції при цьому можна представити сумарним рівнянням:



Як видно, при цій реакції з триацилгліцеридів жирних кислот утворюються метилові ефіри цих кислот. Загалом алкоголіз аналогічний гідролізу жирів. Відмінність полягає в тому, що замість води чинним агентом є спирт.

Алкоголіз здійснюється за наявності каталізатора. Без каталізатора він протікає вкрай повільно навіть за температури 250°C. В описаному вище прикладі каталізатором є алкогольят калію, що утворюється в спиртовому розчині за рівноважною реакцією  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{KOH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OK} + \text{H}_2\text{O}$ .

Тому для алкоголізу олій з метиловим спиртом можна користуватися замість їдкою луго спиртовим розчином алкогольята калію або натрію.

Технічно цікавим видом алкоголізу є реакція, що протікає при нагріванні триацилгліцеридів з гліцерином, найчастіше в інтервалі 170...250°C, під нормальним атмосферним тиском або при розрідженні, у присутності алкогольятів або окисів свинцю, цинку, магнію, марганцю, а іноді й деяких інших речовин. Цей випадок алкоголізу називають гліцеролізом. В результаті утворюються ди- і моноацилгліцериди.

Реакції алкоголізу природних рослинних олій призводять до утворення окрім гліцерину складних метилових ефірів вищих аліфатичних кислот, що мають меншу молекулярну масу (порівняно з триацилгліцеридами), а значить, і меншу в'язкість і температуру кипіння. Саме продукти реакції алкоголізу в даний час знаходять технічне застосування, наприклад, для отримання біодизельного палива.

У випадку використання суміші олій отримання продукту з реакції алкоголізу може ускладнюватися протіканням паралельної реакції переетерифікації – обміну кислотними залишками між триацилгліцеридами різного складу.

Переетерифікація відбувається одночасно з реакцією алкоголізу і заважає протіканню останньої. Одночасно з реакцією алкоголізу, коли в реакційній масі накопичуються моно- і диацилгліцериди, стає можливим протікання ще однієї побічної реакції – дизпропорціонування.

В результаті реакцій алкоголізу і дизпропорціонування утворюється вільний гліцерин. Однак реакція гліцероліза в цих умовах протікати не може, тому що вимагає більш жорстких умов (висока температура).

Існуючи методи отримання метилових ефірів рослинних олій зводяться до використання трьох основних способів, що розрізняються природою каталізаторів (оскільки каталітичні реакції більш ефективні, ніж некаталітичні):

- Метаноліз триацилгліцеридів рослинних олій в присутності гомогенного каталізатора лужного типу;
- Метаноліз триацилгліцеридів рослинних олій в присутності гомогенного каталізатора кислотного типу;
- Метаноліз триацилгліцеридів рослинних олій в присутності гетерогенного каталізатора.

У випадках каталізу лугом, реакція метаноліза протікає значно швидше, ніж при каталізі кислотою. Однак, якщо вихідна рослинна олія містить значну кількість вільних жирних кислот і воду, то кислотний каталіз реакції метаноліза є більш дієвим. Метилат натрію і калію є більш ефективними в порівнянні з гідроксидами. Концентрації лугу в каталізаторі досягає 2,0% (мас.), що дозволяє досягати величин конверсії рослинних олій в ефіри на рівні 94...98%. Подальше збільшення концентрації каталізатора не призводить до збільшення виходу цільових продуктів, але веде до додаткових витрат на видалення каталізатора з продуктів реакції по завершенні процесу. В даний час практично все біодизельне паливо отримують за допомогою гомогенного каталізу. Використання гомогенних каталізаторів дозволяє провести реакцію метанолу за ліпідної сировини (складних ефірів гліцерину і вищих карбонових кислот) зі спиртом в м'яких умовах. Частково з причини корозійної безпеки, частково за кінетичними параметрами, найбільш кращим з гомогенних систем є вибір лужних каталізаторів. Цей вид каталізатора в даний час є найпоширенішим. При каталізі лугом реакції метаноліза гліцериди і спирт повинні бути істотно зневоднені, так як вода сприяє протіканню реакції омилення, яка призводить до отримання мила, що знижує вихід ефірів і погіршує поділ ефірів, гліцерину і води. Вологість може бути знижена шляхом використання силікагелю. Найбільш важливі параметри, що впливають на процес отримання біодизельного палива шляхом метаноліза: температура реакції, молярне співвідношення спирту і олії, концентрація каталізатора, тривалість реакції, присутність вологи і вільних жирних кислот. Ці фактори знаходяться в стадії безперервного вивчення, накопичується статистика, ведеться аналіз результатів отриманих даних, але вони поки далекі від знаходження оптимальних значень.

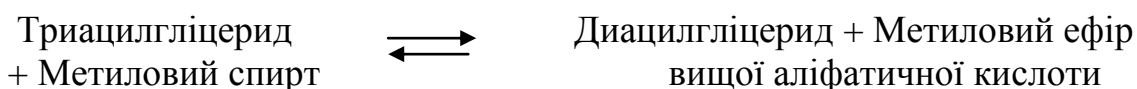
Всі дослідження і промислове виробництво біодизельного палива в різних країнах ведуть в апаратах ємнісного типу («бочках»), в яких перемішування здійснюється тільки за рахунок використання механічного перемішування.

Досліджувана реакція метаноліза має зворотній характер, в даному процесі неможливо досягти 100 %-го перетворення. У кінцевій реакційній суміші завжди будуть присутні моно-, ди- і триацилгліцериди. Ця проблема має специфічне значення через суворі норми щодо чистоти комерційного біодизеля. Наприклад, стандарт DIN EN 14214 для біодизельного палива допускає вміст гліцерину в кінцевому продукті до 0,25% (мас.), три- і диацилгліцеридів до 0,2% (мас.), моноацилгліцеридів до 0,8% (мас.), що

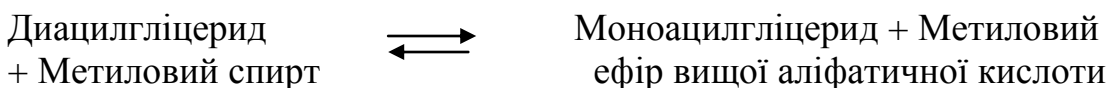
передбачає вихід метилових ефірів вищих аліфатичних карбонових кислот не нижче 98,5%. Одним з напрямків збільшення виходу ефірів є проведення процесу в дві стадії.

Схему реакції метаноліза можна представити в загальному вигляді:

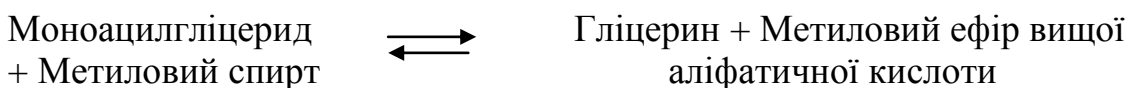
*Стадія 1.*



*Стадія 2.*



*Стадія 3.*



У процесі алкоголізу олії у дві стадії, гліцерин, отриманий на першій стадії, був відділений. Суміш, подана на другу стадію, містила метилові ефіри та моно-, ди- і триацилгліцериди. Процес тривав після додавання додаткових кількостей метанолу і каталізатора. На другій стадії відбувається збільшення виходу метилових ефірів. Криві кінетики процесу на першій і другій стадіях аналогічні. Фактично спостерігалось різке збільшення виходу ефірів в перші хвилини, і згодом криві стають асимптотичними з часом. Фізико-хімічні характеристики та експлуатаційні властивості біопалива, отриманого двохстадійним метанолізом, практично не відрізнялися від тих, що були притаманні біопалива, отриманого в одну стадію.

При отриманні біодизельного палива на початковому етапі (при концентрації метилових ефірів нижче 70%) реакція метаноліза є гетерогенною з обмеженою масопередачею, тому механічне перемішування виявляється малоефективним. Вище цієї концентрації ефірів суміш компонентів реакції формує єдину фазу. Одним із способів вирішення проблеми незмішуваності компонентів реакції є введення співрозчинників. Часто як спів розчинник використовують тетрагідрофуран (ТГФ), який за температурою кипіння близький до метанолу і може бути відділений перегонкою в один ступінь в одному апараті. Досліди проводилися за кімнатної температури 23°C і атмосферному тиску з кількістю каталізатора КОН 1% (мас.) і без спеціального перемішування, крім початкового слабкого змішування. Однофазна реакція з співрозчинником ТГФ дуже швидка і за 5 хвилин наближається до рівноваги.

Третя стадія реакції метаноліза протікає дуже повільно, в продуктах реакції присутня підвищена кількість непрореагованих моногліцеридів. Усунути це можливо за рахунок збільшення концентрації метанолу в реакційній суміші або проведення процесу в два ступені (рис. 7.4).

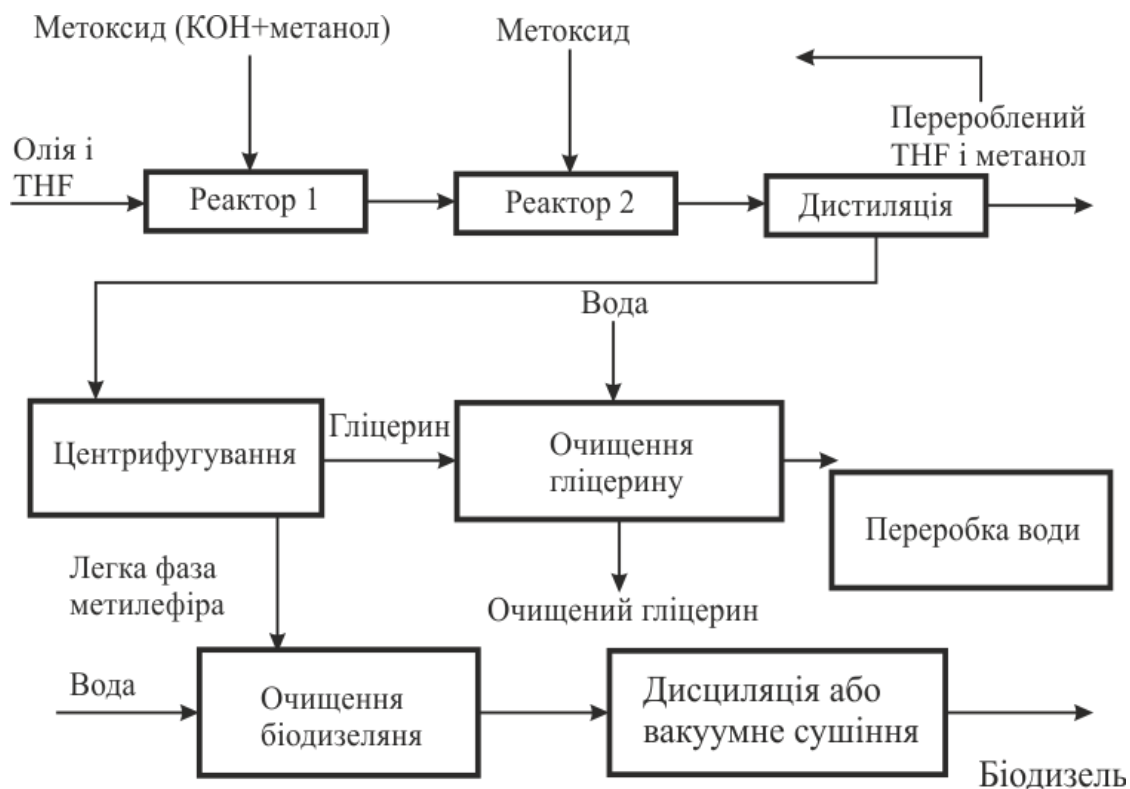


Рис. 7.4 – Схема виробництва біопалива з співрозчинники

За даною схемою принципово можна організувати безперервний процес. Реакція метаноліза проводиться в два ступені послідовно в трубчастих реакторах, в яких достатньо 10 хвилин часу перебування реагентів. Після виходу з реакторів метанол і ТГФ разом відганяються, конденсуються і повертаються в реактори. Гліцерину і ефірну фази відокремлюють центрифугуванням, промивають (промивну воду відокремлюють центрифугуванням), продукти сушать і отримують біодизельне паливо і гліцерин. В реакторах не потрібні мішалки і нагрів. Оптимальне співвідношення кількості олії до ТГФ 1:0,5. У разі присутності в реакційній масі води ТГФ утворює азеотропи і для їх поділу потрібно більш складна екстрактивна дистиляція. Цей підхід вимагає додаткових витрат на обладнання та енергію для наступного поділу (наприклад, видалення ТГФ). Крім того, небажані речовини, які присутні в компонентах реакції, можуть через зміни умов розчинення потрапити в продукт – біопаливо.

Висока вартість рослинної олії змушує використовувати сировину для промисловості меншої вартості (наприклад, прогірклі або фритюрні масла), але в них високий вміст води та / або вільних жирних кислот. У цьому випадку для реакції потрібно більш висока концентрація каталізатора. Це створює труднощі при відділенні гліцерину і промивної води. Крім того, необхідні додаткові процеси очищення промивної води, щоб видалити метанол і каталізатор, які прореагували, що є енергоємною операцією. Ці проблеми принципово можуть бути подолані за допомогою гетерогенних, в

тому числі ферментативних іммобілізованих каталізаторів і застосування мембранних реакторів у виробництві біодизеля.

Виробництво біодизеля за допомогою каталізування ферментами, було запропоновано для подолання недоліків, притаманних кислотним і лужним каталізаторам. Головна перешкода, з якою зіткнулися при використанні ферменту ліпази – це його вартість. Тому економічно важливо багаторазове використання ліпази, яке можливе у разі іммобілізованої форми ліпази. У процесі багаторазового використання іммобілізованої ліпази при отриманні біодизелю з соняшникової олії поліпшується стабільність і активність каталізатора.

Звичайні методи іммобілізації включають розміщення ферменту на тверді підкладки і закріплення в межах матриці полімеру або в гідрофільній піні поліуретану. Якщо ліпаза іммобілізована, то вона стає твердою фазою, при цьому мають місце додаткові переваги: запобігається забруднення продукту каталізатором і продовжується період корисної активної роботи ферменту. Збільшення температури збільшує швидкість ферментно-каталітичної реакції, але до певної межі; за температур вище 45°C ліпаза, що має білкову природу, денатурує, що призводить до зменшення кількості активного ферменту. Оскільки іммобілізація забезпечує більш тверду зовнішню основу для молекули ліпази, температурні оптимуми, як очікується, збільшаться, що призведе до більш високої швидкості реакції.

Серед усіх методів іммобілізації зазвичай вибирається фізична адсорбція через її простоту, відсутність дорогих і отруйних реагентів, здатності зберегти активність і можливість регенерації.

З іншого боку, погана адсорбція ферментів призводить до вилуговування їх з поверхні підкладки, що змушує застосовувати інші засоби іммобілізації ферментів. Можливо досягти посилення зв'язків між розчинною у воді ферментом і водо нерозчинними поверхнями, використовуючи біфункціональні з'єднання невеликої молекулярної маси, типу глутарового альдегіду. Розроблено процедуру іммобілізації ліпази в межах гелевої матриці.

Проаналізовано застосування у виробництві біодизеля іммобілізованої ліпази на магнітних наночастинках.

Ця система робить можливим проведення процесу з відділенням продуктів, що утворюються з реакції алкоголізу.

Магнітний характер носія дозволяє забезпечити переважне місце розташування біокаталізатора на поверхні розділу між двома рідкими незмішуваними фазами.

Для забезпечення тісного контакту іммобілізованого ферменту з реакційною сумішшю необхідно здійснювати ефективне перемішування в реакторі. Іммобілізований фермент утримується в реакторі за рахунок установки фільтра на виході. Такі реактори не вимагають великих витрат. Проте ще один продукт реакції – гліцерин змішується з метанолом. При цьому утворюється друга рідка фаза, яка не змішується з рослинною олією,

але ця друга полярна органічна фаза витягує метанол з ліпідної фази, зменшуючи концентрацію його в середовищі реакції, і це зменшує ступінь перетворення триацилгліцеридів, знижуючи вихід цільового продукту – біопалива. Отже, ступінь перетворення (і вихід) можна збільшити, за умови видалення гліцерину з реакційної суміші. Для досягнення цього запропоновані мембранні реактори з іммобілізованою ліпазою, які можуть використовувати плоскі мембрани. В реакторах цього типу реакція і поділ можуть відбуватися одночасно.

Більш складний та інноваційний підхід був запропонований із застосуванням мембранного реактора, в якому іонний обмін здійснюється безпосередньо мембраною. Цей пристрій дозволяє провести майже повну етерифікацію олеїнової кислоти з метанолом за кімнатної температури, переміщаючи рівновагу реакції до формування ефірів.

Мембранна реакторна технологія застосовується у виробництві біодизеля: в мікропористій неорганічній мембраною реакторі відбувалося селективне проникнення ефірів вищих аліфатичних кислот, метанолу, каталізатора і гліцерину протягом процесу метаноліза. Мембранний модуль складається з пористої мембранної труби, вміщеній в кожух, утворюючи конфігурацію «труба в трубі». Метаноліз, як вважають, відбувається на поверхні масляних крапельок. У міру того, як в ході реакції утворюються метилові ефіри вищих карбонових кислот, вони дифундують у фазу метанолу. Незмішуваність рослинної олії з метанолом і змішуваність компонентів біопалива з метанолом дозволяють здійснити легке відділення продуктів від реагентів. Через позитивну відмінність тиску поперек мембрани, фаза ефіри / метанол / гліцерин / каталізатор проходить через мембрану і проникає в потік. Олія і метанол не змішуються і сукупність молекул масла, сформованих в крапельки, дисперговані у спирті і являє собою емульсію. Масляні крапельки не можуть пройти крізь пори мембрани через їх великий розмір щодо розміру пор мембрани.

Застосовується новий напівбезперервний мембранний реактор для виробництва високоякісного біодизелю. В установці насос циркуляції, мембранний модуль і теплообмінна система складають циркуляційний контур, в межах якого реакція метаноліза відбувається за керованих температур і тиску. Вибір мембран з відповідним розміром пор залежить від розміру диспергованих масляних крапельок в безперервній фазі алкоголю. Середній розмір краплі для емульсії – 44 мкм, з нижньою і верхньою межами розміру 12 і 400 мкм відповідно. Обрана мембрана з найбільшим розміром пор 1,4 мкм, що майже на порядок менша, ніж найнижча межа розміру краплі 12 мкм.

Важливим є підтримання гетерогенного стану в межах реактора. Змішуваність реагентів і поділу продуктів, отриманих з мембранного реактора, оцінюють з використанням октанол-водних коефіцієнтів поділу. У відповідності з цими даними можна очікувати, що диацилгліцериди і триацилгліцериди залишаться в дисперсній фазі, тоді як моноацилгліцериди і

гліцерин перейдуть у рухливу метанольну фазу і можуть проникнути крізь мембрану. Але моноацилгліцериди швидко перетворюються в метилові ефіри, тому, не дивлячись на те, що моноацилгліцериди можуть проникати крізь мембрану, в продукті вони не виявляються.

У дослідах олія каноли було успішно переестерифікована з використанням метанолу та NaOH в мембранному реакторі. Всі перевірені вуглецеві мембрани з різними розмірами пор (а саме: 0,05; 0,2; 0,5 і 1,4 мкм) зберігали олію каноли в реакторі. Встановлено, що найнижча допустима об'ємна частка метанолу 0,29 відповідає теоретичним розрахункам. Поділ фаз проникаючого потоку відбувся за кімнатної температури: багата ефірами фаза практично не містить гліцерин, що спрощує очищення біодизеля, а полярна, багата метанолом фаза, може рециркулювати в реакторі і дозволити в перспективі здійснити безперервне виробництво біодизеля.

Процеси, що використовують гетерогенні (наприклад, цеолітні) каталізатори, поки знаходяться в стадії опрацювання на лабораторному рівні, вони вимагають дуже високих температур (200...220°C) і тисків (20...22 атм.), щоб забезпечити ефективність метаноліза. Об'ємна швидкість течії олії крізь 1 літр гетерогенного каталізатора в біореакторі не повинна перевищувати 1 літра на годину. Регенерація каталізатора передбачає його прожарювання в муфелі на повітрі при 550°C протягом 3 годин. Нагрівання зі швидкістю не більше 10°C/хв. Охолоджувати також бажано повільно, без доступу повітря, щоб не утворювалися на поверхні каталізатора карбонати. Після охолодження каталізатор поміщається в біореактор або ємність для зберігання і герметизується. Це один з перспективних напрямків, а основною проблемою є пошук найбільш оптимального каталізатора.

Японські вчені працюють над створенням методу отримання біодизельного палива без каталізатора. Метанол за новим методом (за температури близько 400°C і тиску до 200 МПа) переходить в так званий «надкритичний стан». Передбачається, що в цьому випадку швидкість реакції етерифікації повинна збільшитися в кілька десятків разів при високому виході продукту. Після завантаження ріпакової олії та метанолу посудину занурювали в олов'яну баню, попередньо нагріту до 350...400°C і витримували протягом 4 хв до настання надкритичних параметрів метанолу, після чого посудину поміщали в холодну баню для припинення реакції. Отримані продукти реакції аналізували рідинною хроматографією високої роздільної здатності і підтвердили протікання реакції алкохолізу.

Надкритичні рідини мають щільність, яку можна порівняти з щільністю рідин і коефіцієнтами дифузії. Серед надкритичних рідин – двоокис вуглецю, будучи дешевим танетоксичним – є очевидним вибором з органічних розчинників. Розчинність вищих карбонових кислот, що володіє довгим неполярним вуглеводневим ланцюгом, за кімнатної температури в газоподібному оксиді вуглецю (IV) незначна, що дозволяє відокремити продукт від розчинника.



Синтез біодизеля в надкритичних спиртах без каталізатора – багатообіцяючий метод, в перспективі здатний замінити каталітичний процес алкоголізу. Некаталітичний спосіб виробництва біодизеля з надкритичним метанолом дозволяє реалізувати формально простий процес і досягти високих виходів продукту через одночасну переетерифікацію триацилгліцеринів і етерифікації жирних кислот. Спостерігалось, що в докритичному стані метанолу швидкість реакції є дуже низькою і поступово збільшується з підвищенням як тиску, так і температури. Збільшення температури реакції, особливо в надкритичних умовах, збільшує ступінь перетворення складних ефірів гліцерину і вищих карбонових кислот. Крім того, в даному процесі на відміну від процесу, що каталізується лугом, присутність води позитивно впливає на формування метилових ефірів. У порівнянні з каталітичними процесами за атмосферного тиску, свержкритический процес з метанолом є некаталітичним, і тому очистка продуктів реакції (компонентів біопалива) набагато простіша. Також у цьому випадку відзначається менший час реакції. Проте реакція вимагає температур 250...400°C і тиску 35...60 МПа.

Подальша еволюція методів отримання біодизельного палива відбувається в напрямку комплексного впливу різних чинників на складні ефіри гліцерину і вищих карбонових кислот.

Вивчено синтез біодизеля з касторової і лляної олії в двоокис вуглецю з ферментами і в надкритичні спирти без каталізатора. Досліджено вплив таких параметрів, як мольне ставлення спирту до олії, температура і завантаження ферменту на кінетику алкоголізу. В процесі з ферментативним каталізом мольне ставленням спирту до олії 5:1 відзначено збільшенням перетворення касторової олії до 45% (з метанолом) і до 35% (з етанолом) і збільшується завантаженням ферменту до 20% ваги. Подальше збільшення завантаження ферменту не призводить до збільшення виходу метилових ефірів карбонових кислот. Це узгоджується з результатами, які показують максимальну ступінь перетворення для метаноліза соняшникової олії для завантажень ферментів 30% ваги і вище.

Оптимальне мольне ставлення спирту до олії 6:1 отримано для алкоголізуолії ядра пальми в оксиді вуглецю (IV) при 40°C і 73×105 Па.

Ступінь перетворення касторової олії спочатку росте з температурою і досягає максимуму (45%).

Подальше збільшення температури веде до зменшення ступеня перетворення, що може бути пов'язано з дезактивацією ферменту. Результати дослідів за алкоголізом касторової олії з метанолом і етанолом показують оптимальну температуру 50 і 45°C, з максимально можливим ступенем перетворення 45 і 38% відповідно.

Вивчено кінетику некаталітичної реакції одержання біодизеля з касторової і лляної олії при надкритичних умовах з метанолом і етанолом за температур 200, 250, 300 і 350°C. Реакція алкоголізу також йде в три стадії. Повна схема реакції може протікати в одну стадію і порядок реакції і

коефіцієнт швидкості реакції може бути безпосередньо отриманий з кінетичної залежності швидкості реакції від концентрації олії. Порядок реакцій з метанолом і етанолом є майже першим і для касторової і лляної олії. Температурні залежності відповідали рівняння Арреніуса, що дозволило визначити енергії активації 35, 55, 46,5 і 70 кДж/моль для метилового ефіру касторової олії, етилового ефіру касторової олії метилового ефіру лляної олії і етилового ефіру лляної олії відповідно. Енергії активації 117, 128 і 29 кДж/моль були отримані для першої, другої і третьої стадії реакції відповідно. Певні енергії активації реакції отримання метилових ефірів касторової і лляної олії 69 і 39 кДж/моль можна порівняти з енергією активації для одноступінчатого механізму реакції отримання метилових ефірів різних рослинних олій.

Вивчено вплив на некаталітичну реакцію мольних відносини метанолу до касторової і лляної олії з докритичним (200°C) і надкритичним (250...350°C) станом метанолу та етанолу. Мольне ставлення спирту до олії змінювалося від 10:1 до 70:1 при чотирьох різних температурах (час реакції 40 хвилин). Відзначено збільшення ступеня перетворення зі збільшенням мольних відносин до 40:1.

Вплив температури на протікання некаталітичної реакції одержання біодизеля було вивчено за мольного співвідношення 40:1. Ступень перетворення, отриманий при 200°C після 60 хвилин – 55 і 27%. Більш високі виходи метилових ефірів ріпакової олії 68 і 70% досягнуті при 200...230°C відповідно за 60 хвилин. Ступінь перетворення 60% була отримана у разі метилових ефірів різних рослинних олій при 220°C за 5 хвилин.

Переетерифікація олії сої з метанолом показала ступінь перетворення тільки 11 і 20% при 220 і 235°C. При 350°C реакція йде швидко з виходом метилових ефірів 65% протягом 10 хв, для повного перетворення потрібно 40 хв для касторової і лляної олій.

При високих температурах, які характерні для процесу переетерифікації олії в надкритичному метанолі, можливо утворення продуктів – метилових ефірів вищих аліфатичних кислот. Хоча двоступеневий метод, який складається з гідролізу олій у докритичній воді і подальшої етерифікацією в надкритичному метанолі, може запропонувати відносно помірні умови реакції (температура 300 °C, тиск від 7 до 20 МПа), вони все ще вище, ніж такі для традиційного методу з лужним каталізатором. У таких жорстких умовах головним завданням стає термічна стабільність біодизельного палива.

### **7.2.3. Сучасні технології виробництва біодизелю**

#### *Виробництво біопалива на основі ріпакової олії.*

Найбільш перспективним для дизельних двигунів є паливо рослинного походження з насіння олійних культур (соняшник, соя, рапс, рижик, гірчиця тощо). Перспективною сировиною для отримання біопалива з насіння є

ріпак, що визначається фізико-хімічними властивостями ріпакової олії (РО), близькими до властивостей дизельного палива (ДП).

В даний час більшість розвинених країн практикують виробництво та використання біопалива, створюють нові потужності з виробництва біодизеля. Однак отримання ДП є складною технологією з використанням метилового спирту, тому виробництво і застосування такого палива вимагає великих витрат і особливих заходів безпеки.

Одна з головних проблем при роботі дизеля на чистій РО – підвищена кількість вуглецевих відкладень на поверхні камери згоряння і закоксованість соплових отворів розпилювачів форсунок. Вирішити цю проблему можна на стадії виробництва біопалива шляхом часткової нейтралізації РО і подальшого змішування з ДПу співвідношенні 0,7/0,3 для використання суміші при температурі 65...70°C.

Для видалення важких жирних кислот, зменшення щільності й в'язкості перед змішуванням з ДП пропонується нейтралізація РО. Зазначене досягається добавкою в попередньо очищену і підігріту до температури 50...60°C РО їдкою калій (КОН) в кількості 0,1...0,3%.

При інтенсивному перемішуванні компонентів тривалість реакції становить 7...10 хв з випаданням солей важких кислот в осад щільністю 1150 кг/м<sup>3</sup>. Обсяг осаду досягає 5...7% обсягу олії, при цьому в'язкість і щільність його знижуються на 10 і 2% відповідно.

При великому різноманітті мобільних і стаціонарних комплексів з виробництва біопалива з насіння ріпаку залишається відкритим питання про вибір технологічної лінії для порівняно невеликих господарств з річним споживанням ДП – 300...500 т. Оскільки мова йде не тільки про переробку сировини на олію (як основи палива), але й про отримання ріпакової макухи, таке виробництво має розташовувати з комплектом устаткування, що задовольняє умовам господарської діяльності (річної потреби в паливі, оброблюваної площі, можливості реалізації побічної продукції тощо).

Запропоновану технологію виробництва палива з насіння ріпаку (рис. 7.5) умовно можна розділити на кілька основних етапів: пресування насіння; попереднє відстоювання олії; фільтрування; лужна нейтралізація; змішування РО з ДП.

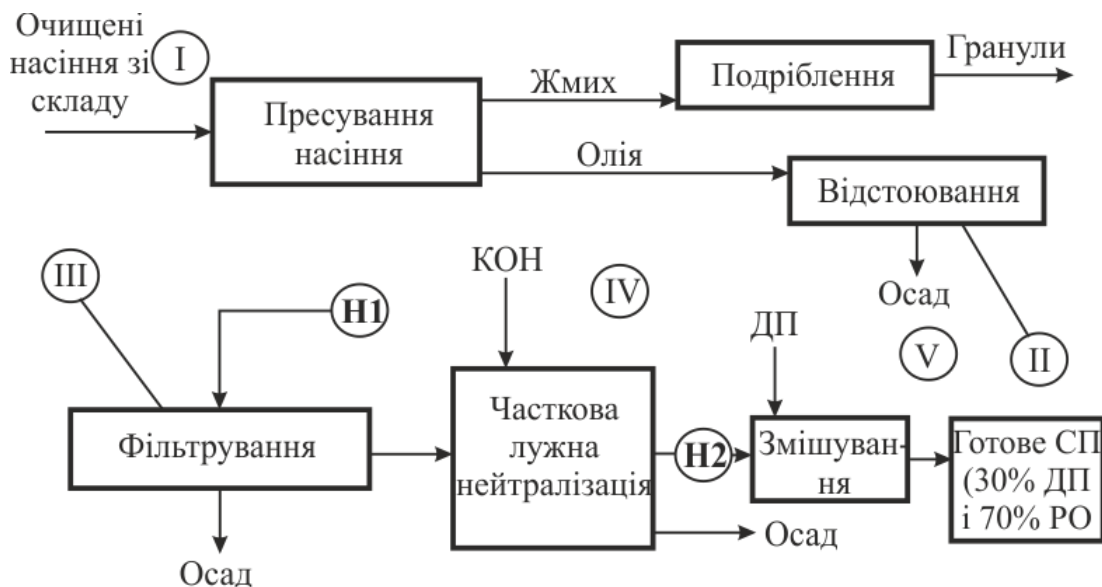


Рис. 7.5 – Технологія виробництва біопалива з насіння ріпаку

Очищене насіння зі складу або засипної ями транспортером подається до живильника шнекового преса (I), на виході з якого встановлений подрібнювач макухи, транспортер для його відводу та ємність (II) під попереднє відстоювання олії, самопливом надходить з преса. Після відстоювання, олія насосом N1 відкачується з ємності (II) і подається у фільтр-прес (III) для очищення. Очищена від домішок олія піддається лужній нейтралізації в нейтралізаторі-роздільнику (IV), де проводиться підігрів до 50°C і перемішування олії з лугом, в результаті чого випадає до 7% осаду, який тут же відокремлюється і виділяється в спеціальний резервуар (на подальшу переробку). Після нейтралізації, РО насосом N2 перекачується в змішувач (V). У змішувачі до РО через дозатор додається ДП для отримання сумішевого палива (СП), яке самопливом надходить в ємність готової продукції.

Нижче наведені показники технологічної лінії (табл. 7.13) виробництва біопалива з насіння ріпаку продуктивністю (за насінням) 250 кг/год.

Одним з перспективних альтернативних відновлювальних джерел енергії є рослинні і тваринні жири, які можуть бути використані для виробництва біодизельного палива (біодизеля).

**Таблиця 7.13 – Показники технологічної лінії виробництва біопалива з насіння ріпаку на основі шнекового преса**

Показник	Значення показника
Продуктивність за СП (70% РО + 30% ДП) при виході олії 29% і кількості осаду до 9%, кг/год	87,2
Вихід олії (без нейтралізації та фільтрування), кг/год	72,5
Вихід макухи, кг/год	120
Витрата луку (КОН10%), кг/год	0,19
Встановлена потужність обладнання, кВт	30,5
Конструктивна маса обладнання, кг	3740
Габаритні розміри комплексу, м	5,2×3,5×3,6
Обслуговуючий персонал, чол. при експлуатації	1
при монтажі, ТО та ремонті	3

Біодизель – це метиловий або етиловий ефір, що володіє властивостями горючого матеріалу і отримується в результаті хімічної реакції з рослинних жирів. Для отримання метилового ефіру до рослинної олії додається метанол, а також невелика кількість лужного каталізатора. Суміш обробляється в спеціальних реакторах. В результаті хімічної реакції утворюється метиловий ефір (біодизель), а також побічний продукт – гліцерин, широко використовуваний у фармацевтичній і лакофарбовій промисловості. Отриманий ефір має гарну здатність до запалення. Якщо для мінерального дизпалива характерний показник в 50...52%, то метиловий ефір вже спочатку містить 56...58% цетана. Це дозволяє використовувати його в дизельних двигунах без інших стимулюючих займання речовин. Завдяки такій властивості метиловий ефір, що отримується з рослинних олій та жирів, і був названий біодизелем.

Технологічна схема з виробництва біодизеля з використанням установок кавітаційної обробки ЮРЛЕ-К наведена на рис. 7.6.

Рослинна олія фільтрується і надходить за допомогою насоса в установку кавітаційної обробки (УКЗ) ЮРЛЕ-К. До цієї ж установки надходить дозована кількість суміші луку (КОН або NaOH) і спирту (метилового або етилового). Суміш луку та спирту попередньо підготовляється за допомогою роторно-пульсаційного апарату (РПА) або окремої установки кавітаційної обробки малої потужності.

Установка кавітаційної обробки ЮРЛЕ-К служить одночасно як реактором переетерифікації (трансетерифікації) речовини, так і прискорювачем цього процесу. У процесі обробки в УКО відбувається прискорення реакції за рахунок багаторазового інтенсивного кавітаційно-вихрового впливу на рухому суміш.

Установка кавітаційної обробки ЮРЛЕ-К дозволяє також при необхідності ефективно змішати біодизель із звичайним дизельним паливом.

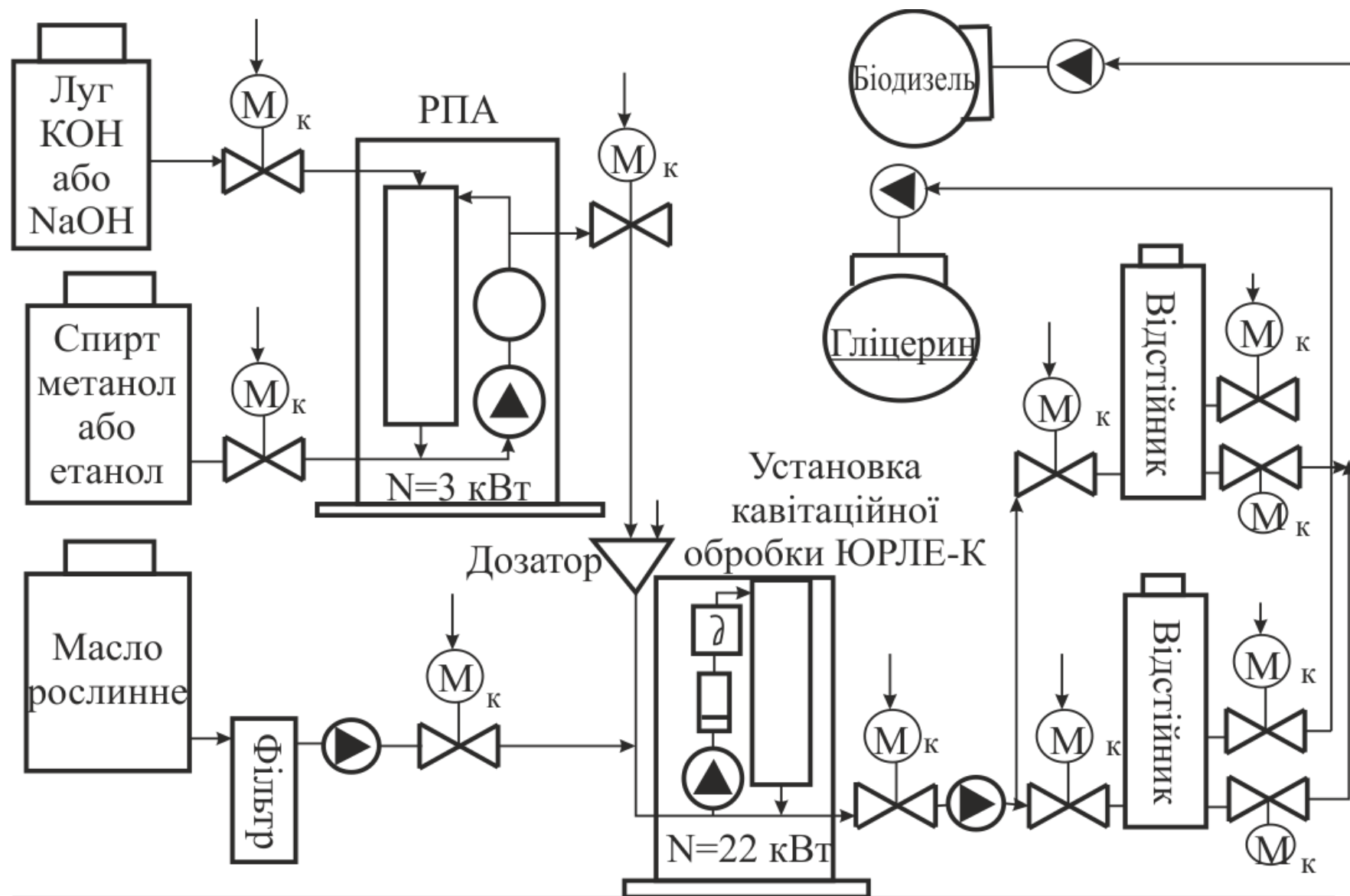


Рис. 7.6 – Технологічна схема з виробництва біодизеля з використанням установок кавітаційної обробки ЮРЛЕ-К

Переваги даної лінії в порівнянні з класичними:

1. Безпека. Процес переетерифікації відбувається при низьких температурах і тиску, що підвищує безпеку виробництва.

2. Енергоефективність та продуктивність. Кавітаційно-вихрова обробка у багато разів підвищує продуктивність і зменшує енергоємність процесу.

3. Простота. Для керування і спостереження за лінією достатньо одного оператора.

*Технологія отримання біодизельного палива «ТЕКМАШ».*

Унікальність технології «ТЕКМАШ» ґрунтується на гідродинамічній обробці компонентів реакції у вигляді рослинної олії і метилового спирту, що призводить до інтенсифікації протікання реакції трансетерифікації – основна реакція одержання біодизельного палива.

Це, по-перше, збільшує швидкість протікання реакції, по-друге, збільшує повноту протікання реакції.

Збільшення повноти протікання реакції відбувається, по-перше, за рахунок гідромеханічного впливу на молекулярному рівні на компоненти реакції, по-друге, за рахунок ефективного перемішування середовища, що забезпечує транспортування метилового спирту і гідроксиду калію або натрію в необхідній пропорції в будь-яку область проходження реакції. Це повністю виключає попадання в біодизельне паливо метилового спирту або рослинної олії.

Інтенсифікація процесу протікання реакції відбувається за рахунок кавітаційного впливу на компоненти реакції в спеціально спроектованих неруйнівних насадках. Відомо, що при кавітаційному впливі на оброблювану середу, тиск і температура в локальній зоні впливу підвищуються до тисяч градусів і атмосфер. За таких умов реакція трансетерифікації відбувається практично миттєво і при мінімальному енергоспоживанні.

Для ефективного перемішування компонентів реакції використовується спеціальна технологія «ТЕКМАШ» та обладнання у вигляді струменево-вихрових гідродинамічних нагрівачів типу ТЕК-БД. У замкнутих гідродинамічних апаратах повністю відсутні застійні зони, що забезпечує 100 %-у повноту проходження реакції трансетерифікації.

Кавітаційна обробка середовища може розглядатися як «холодне кип'ятіння» середовища, в результаті якого мінеральні сполуки, що містяться в рослинній олії, ефективно випадають в осад. Це дозволяє отримувати високоякісне паливо за критерієм «зольність» без використання додаткового дорогого обладнання.

На сьогодні відомо, що кавітаційна обробка палива дозволяє поліпшити його експлуатаційні характеристики на 2...3%. Вплив кавітації, за аналогією з відомими процесами отримання палива з нафти, називають мікрокрекінгом. Обладнання, що випускається компанією «ТЕКМАШ» дозволяє ефективно перемішувати одержане біодизельне паливо з традиційною «соляркою» класичного походження. При цьому продуктивність лінії композиційного

палива в 5...8 разів вище її номінальної продуктивності за рослинною сировиною.

Використання підходу «ТЕКМАШ» дозволило при отриманні біодизелю здійснити основну реакцію етерифікації з максимальною повнотою. Це дало можливість вписатися в американський стандарт якості біодизельного палива ASTM, отримавши при цьому:

- мінімальна кількість відходів, які потребують утилізації (не більше 2% від маси рослинної олії);
- мінімальне енергоспоживання (не більше 10...20 кВт·год) на 1 тону виробленого біодизельного палива.

Для порівняння, при виробництві біодизельного палива за класичною технологією із застосуванням нагріву за допомогою електродка енергоспоживання для отримання 1 тонни біодизелю лежить в межах 50...100 кВт·год, тобто практично в 3 рази більше, ніж за технологією «ТЕКМАШ».

Порівняння використання технології «ТЕКМАШ» і класичної технології отримання біодизельного палива (з розрахунку продуктивності одна тонна на годину) наведено в табл. 7.14.

**Таблиця 7.14 – Порівняльна характеристика технологій виробництва біодизелю**

Параметри	Класична технологія	Технологія «ТЕКМАШ»
Питомі енерговитрати на 1 т масла, кВт·год.	50–60	10–15
Повнота проходження реакції, %	92–96	97–99
Кількість метилового спирту, % від масла	14–20	14–18
Необхідна площа, не більше, м <sup>2</sup>	150–200	25–40

Лінія з виробництва біодизельного палива працює таким чином (рис. 7.7): рослинна олія з ємності 1 перекачується насосом Н1 в реактор-трансестерифікатор 5, куди додається порція спирту і гідроксиду калію (KOH) або натрію (NaOH) з дозатора 9. Після заповнення реактора 5 включається насос установки ТЕК-БД і компоненти реакції багаторазово циркулюють через зону гідромеханічного впливу за схемою «ємність – ТЕК-БД – насос – турбулентна насадка – місткість». При цьому температура в реакторі ТЕК-БД піднімається на 10...12°C. Після закінчення циркуляції продукти реакції перекачуються насосом Н3 в одну з ємностей 6 для поділу на біодизель і гліцерин (процес поділу триває 15...20 хвилин). Після поділу біодизель і гліцерин перекачуються насосами Н4 і Н5 в ємності 7 і 8 відповідно. Після заповнення ємностей 7 і 8 готовий продукт надходить на зберігання чи використання.

Перед початком роботи лінії попередньо готується 4...5 порцій суміші KOH (або NaOH) і спирту в реакторі 4, куди подається спирт з ємності 2 і KOH



з ємності 3. Процес приготування суміші займає 10 хвилин. За допомогою насоса Н2 готова суміш перекачується в дозатор 9.

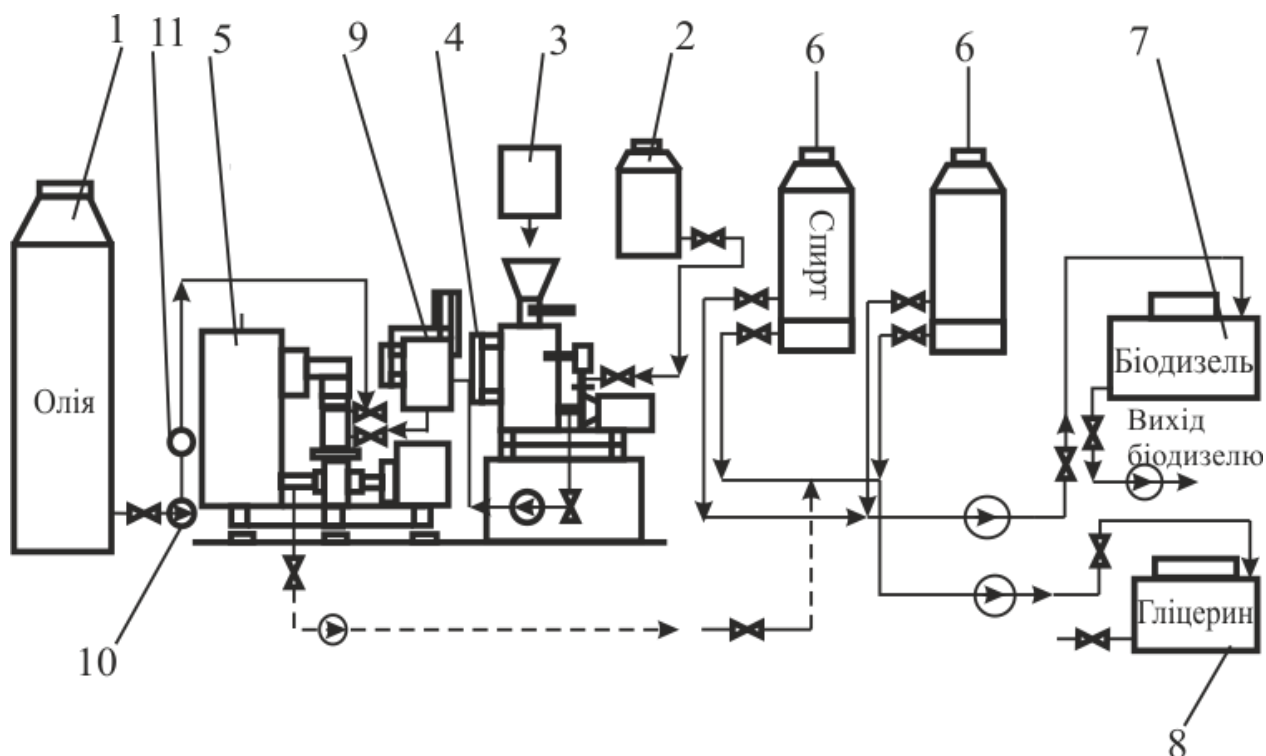


Рис. 7.7 – Схема лінії з виробництва біодизеля

#### *Біодизельна установка ws-230.*

Біодизельна установка складається з наступних основних частин (рис. 7.8): платформа завантаження, що складається з трьох цистерн в комплекті з дозуючими системами і насосами завантаження, в які надходить олія, каталізатор і нейтралізатор. Насоси цистерн посилають три продукти в реактор для попереднього нагрівання і зменшення вологості. Далі вся маса надходить в центрифугу реактора. Платформа обладнана системами завантаження твердих або рідких відходів. Тверді відходи на вході піддаються передобробці, яка передбачає подрібнення, сушіння (якщо необхідно), видалення інертних матеріалів (метали, пісок та ін.).

Центрифуга ректора, яка є серцем системи, сконструйована досить складно, з використанням матеріалів, стійких до температури + 400°C і має максимальні антикорозійні властивості. Тертя між частинками підвищує температуру до + 350°C. Під впливом термічного ефекту і дії каталізатора, в суміші спрацьовує хімічна реакція виробництва вуглеводнів, які при даній температурі мають газоподібний стан. Далі суміш надходить в циклонний сепаратор, де ділиться на рідку і газоподібну фракції. Рідка фракція повертається в цистерну завантаження, а газоподібна фракція потрапляє в колону дистиляції.

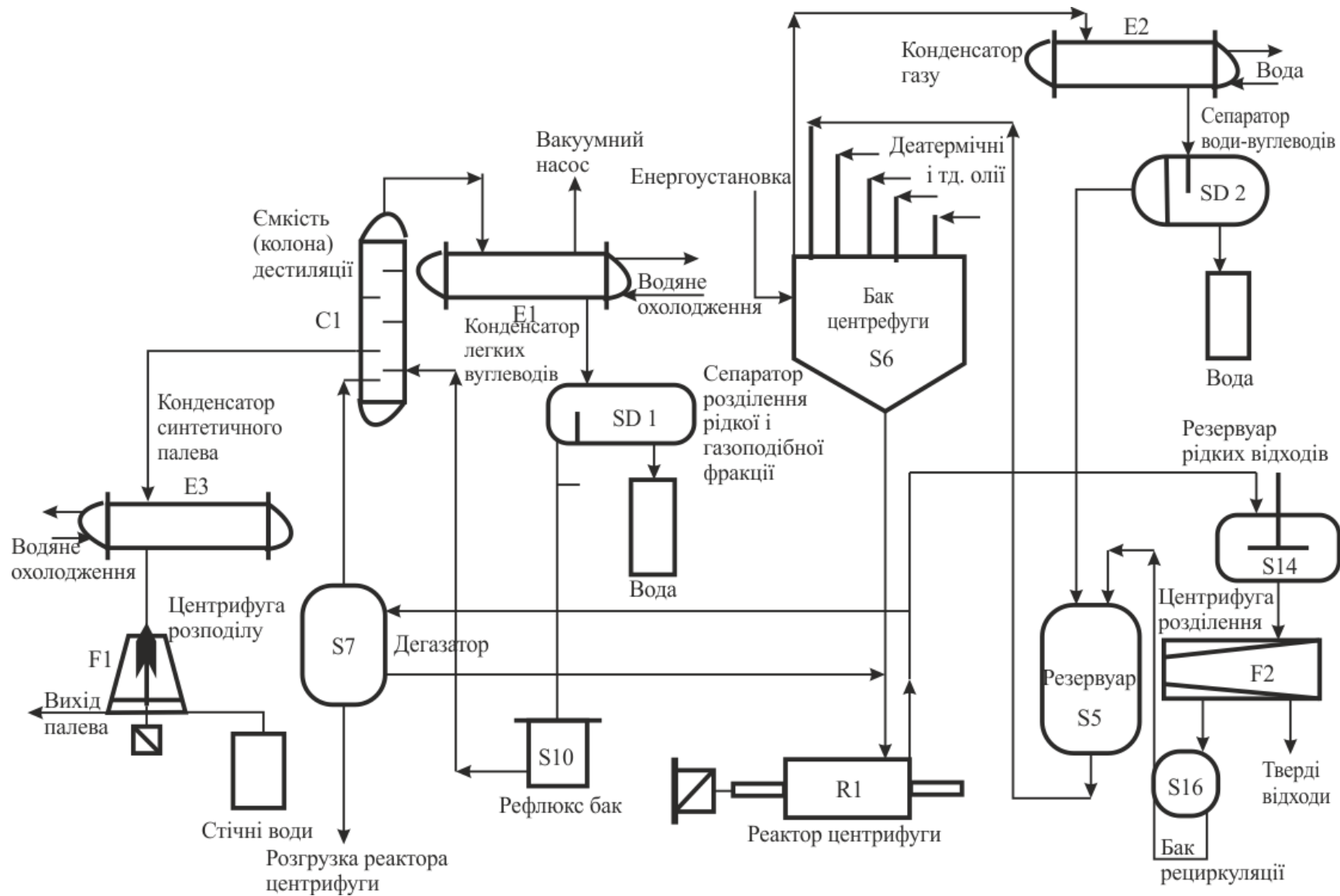


Рис. 7.8 – Технологія отримання біодизельного палива за допомогою біодизельної установки ws-230

З колони дистиляції виходять рідкі синтетичні вуглеводні, які можна розділити на важкі і легкі. Перші (важкі) надходять на теплообмінник і потім в цистерну збору біодизеля.

Залишки процесу надходять на установку, яка розділяє рідку фракцію від твердої, рідка надходить знову в процес, тверда, після контролю складу, на звалище. Ця остання тверда фракція становить від 3...8% ваги первісного складу. Вироблений газ відсмоктується насосами з тиском 105 кПа. Неконденсований газ прямує в цистерну, через систему фільтрів, а потім надходить на виробництво енергії в когенераційні установки. Рідка складова – біодизель, з цистерни надходить на подальше використання.

Вимоги до відходів, що використовуються для переробки в установці біодизеля ws-230:

- вологість не більше 10%;
- відсутність інертних матеріалів (пісок, метал, скло, камені);
- повинні бути дрібно розмелені (фракція менше 3мм).

Принциповим продуктом технології ws є синтетичне пальне, яке має середню щільність близько 0,840 кг/л та теплову здатність 43000 кДж/кг (близько 10 000 ккал). Характеристики даної речовини схожі на характеристики палива для дизельних двигунів або палива для спалювання в пальниках опалювальних котлів. Це паливо представляє собою суміш аліфатичних вуглеводнів C7-C21. Конфігурація установки буде адаптована для отримання продукту з необхідними властивостями. Дане синтетичне паливо може бути використано для виробництва електричної енергії за допомогою доопрацьованих дизельних моторів. Середня продуктивність дорівнює 4 кВт·год з 1 літра продукту.

Аналіз отриманого біопалива показує, що вміст вуглецю в ньому становить близько 86%, водню близько 13%, кисню близько 0,2%, азоту менше 0,2%.

Газоподібна складова. Від процесу молекулярної каталітичної реструктуризації утворюються вуглеводні коротких ланцюгів (від C1 до C5 – пентан, езан, епта а також CO і CO<sub>2</sub>), що знаходяться в концентрації, що не рекомендована для розділення. Ці гази можуть бути спрямовані в когенератори для виробництва теплової/електричної енергії, для отримання теплової енергії та мають теплову здатність близько 16500 кДж/кг.

Вода. Молекулярна каталітична реструктуризація, як вторинний продукт, виробляє забруднену воду, яка повинна піти на водоочистку або як емульсатори для використання в дизельних двигунах («білий» дизель).

Тверді речовини. Складаються з дрібних гранул, що містять вуглець (до 30%), нейтралізатор, каталізатор, мінеральні солі, присутні у вихідних речовинах. Зовнішній вигляд біодизельної установки ws-230 представлено на рис. 7.9.

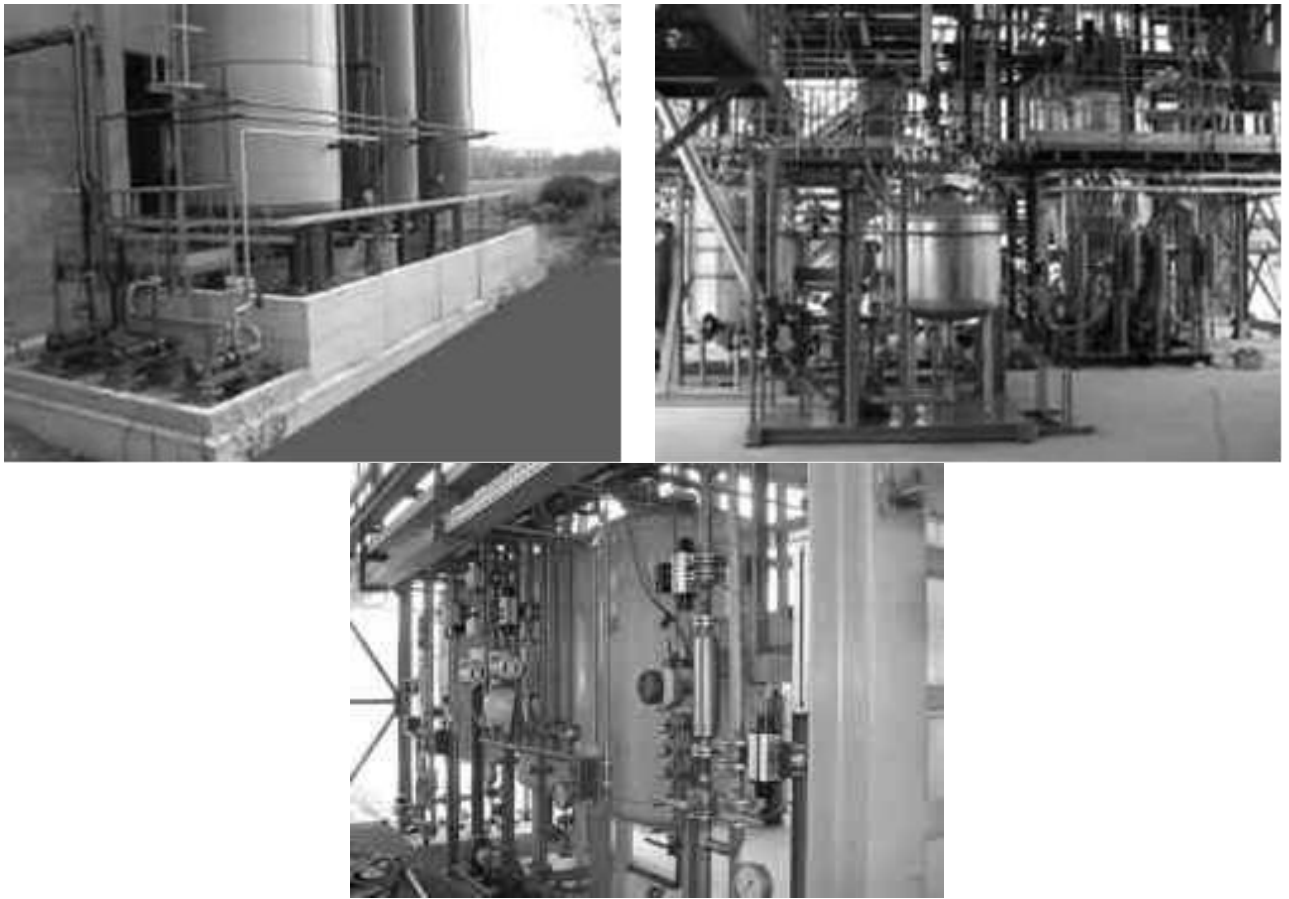


Рис. 7.9 – Зовнішній вигляд біодизельної установки ws-23

*Виробництво біодизеля за допомогою трікантерів, декантерів і сепараторів для біодизеля*

Залежно від виду та якості сировини при виробництві біодизеля використовуються різні методи.

Центрифуга для виробництва біодизеля застосовується на декількох етапах процесу (рис. 7.10):

- роздільний сепаратор для виділення гліциринової води зі складного ефіру жирної кислоти і промивання біодизелю,
- кларифікатор для виділення дрібних речовин з біодизелю,
- трікантер для обробки сировини перед естерифікацією,
- трікантер для розділення трьох фаз: вільних жирних кислот, гліцерину і солей, наприклад, сульфату калію, при очищенні гліцерину за одну технологічну операцію,
- декантер для додаткового промивання солей, наприклад, сульфату калію, при очищенні гліцерину.

Переваги при виробництві біодизеля за допомогою центрифуг:

- покращена якість біодизеля і побічних продуктів завдяки видаленню забруднень перед перетворенням,
- підвищення чіткості поділу при відділенні гліцерину і промиванні біодизелю,

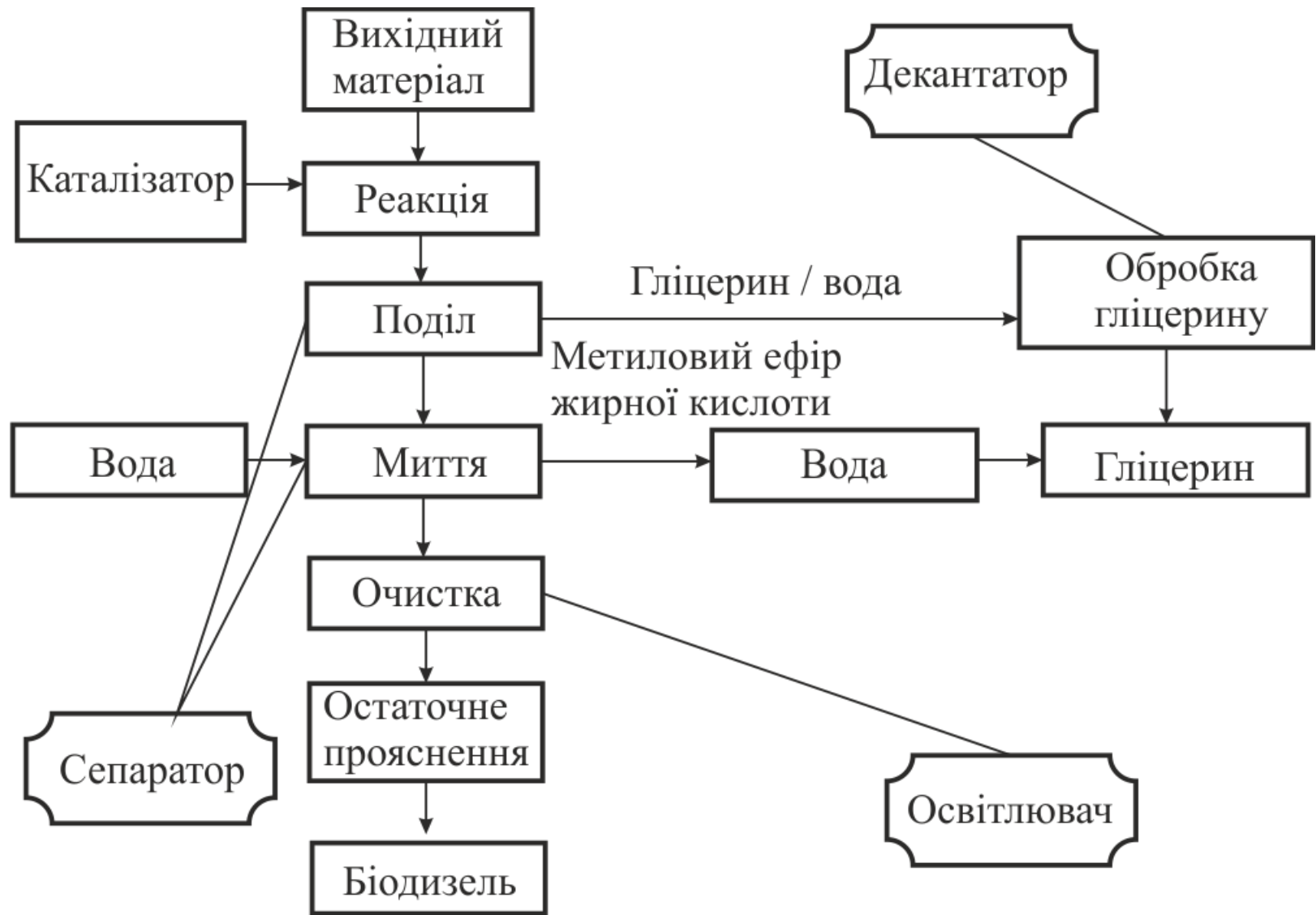


Рис. 7.10 – Технологічна схема виробництва біодизеля за допомогою трікантерів, декантерів і сепараторів для біодизеля

- запобігання утворення відкладень і виникнення проблем з фільтрами завдяки ефективному відділенню стеролглікозидів,
- максимальне знежирення твердої речовини,
- виготовлені за індивідуальним замовленням компоненти – також для дообладнання при існуючих процесах.

#### *Поділ біодизеля і гліцерину*

Для забезпечення оптимального ступеня переетерифікації потрібно максимально швидко і максимально повне відділення гліцерину. Для виконання цих завдань вже протягом десятиліть використовуються сепаратори. Відокремлену суміш гліцерину і води можна переробити для застосування в якості сировини у фармацевтичній і косметичній промисловості.

#### *Промивання біодизеля*

При промиванні біодизеля за допомогою води вимивається велика кількість побічних продуктів, які потім видаляються за допомогою сепаратора. Шляхом промивання біодизелю можна додатково в значній мірі підвищити якість продукту. Це також зменшує навантаження на наступні агрегати.

Переваги при поділі біодизеля і гліцерину і промиванні біодизеля:

- високоефективне поділ за допомогою сепаратора при мінімальній витраті електроенергії,
- високий ступінь чистоти і якість,
- захист від вибуху згідно директивам АТЕХ95,
- всі компоненти мають газонепроникне виконання.

#### *Освітлення біодизеля до кришталевої прозорості*

При освітленні біодизеля до кришталевої прозорості біодизель додатково очищують і полірують за допомогою додаткового сепаратора. Решта забруднення видаляються, тим самим підвищується якість продукту.

Переваги при освітленні біодизеля до кришталевої прозорості:

- видаляються останні сліди твердих речовин,
- забезпечується відповідність найсуворішим стандартам якості.

#### *Видалення стеролглікозидів*

За певних умов, в першу чергу при використанні як сировини пальмової та соєвої олій, в біодизелі можуть осідати стеролглікозиди. При переробці таких олій в більшості випадків потрібні підвищені витрати на технічне обслуговування виробничого обладнання. Сепаратори можуть ефективно видаляти стеролглікозиди і тим самим знижувати ризик порушень процесів.

Переваги при видаленні стеролглікозидів:

- висока якість продукту,
- надійний процес і виконання вимог стандартів якості.

#### *Очищення гліцерину і промивка солі*

Побічні продукти при виробництві біодизеля також можна переробити і отримати цінні речовини. Поряд з гліцерином можна виділяти використану сіль з високим ступенем чистоти.

Переваги при очищенні гліцерину і промиванні солі:

- ефективне механічне розділення – велика частка сухої речовини в отриманій солі,
- захист сушильного обладнання – сіль ефективно видаляється,
- надійна техніка і просте управління.

*Виробництво біодизеля в промислових масштабах*

Приклад заводу з виробництва біодизельного палива (Іспанія) наведено на рис. 7.11.

Потужність: 21,000 м<sup>3</sup> біодизелю на рік

Персонал: 18 осіб

Територія: 6,000 м<sup>2</sup> (будівлі – 2,300 м<sup>2</sup>)

Число реакторів: 3

Сировина: соєва олія, пальмова олія

Зберігання олії: 300 м<sup>3</sup>

Ємності для метанолу: 60 м<sup>3</sup>

Ємності для готового біодизеля (B100): 400 м<sup>3</sup>

Ємності для гліцерину: 100 м<sup>3</sup>

Фотографія заводу біодизелю (Courtesy of Todd & Sargent / West Centraloy)



Рис. 7.11 – Схема виробництва біодизеля (заводпотужністю 7,3 млнлітрівнарік).

*Автоматизований малогабаритний завод для виробництва біодизеля*

Серія міні-заводів для виробництва біодизеля в яких здійснюється виробництво біодизеля, продуктивністю за біодизелем від 1-ї до 10-ти тонн біодизельного палива на добу розроблена в м.Києві, товариством з обмеженою відповідальністю «Елерон».

Технічні характеристики заводів отримання біодизелю та обладнання з виробництва біодизеля наведено в табл. 7.15.

**Таблиця 7.15 – Технічні характеристики малогабаритних заводів для виробництва біодизеля**

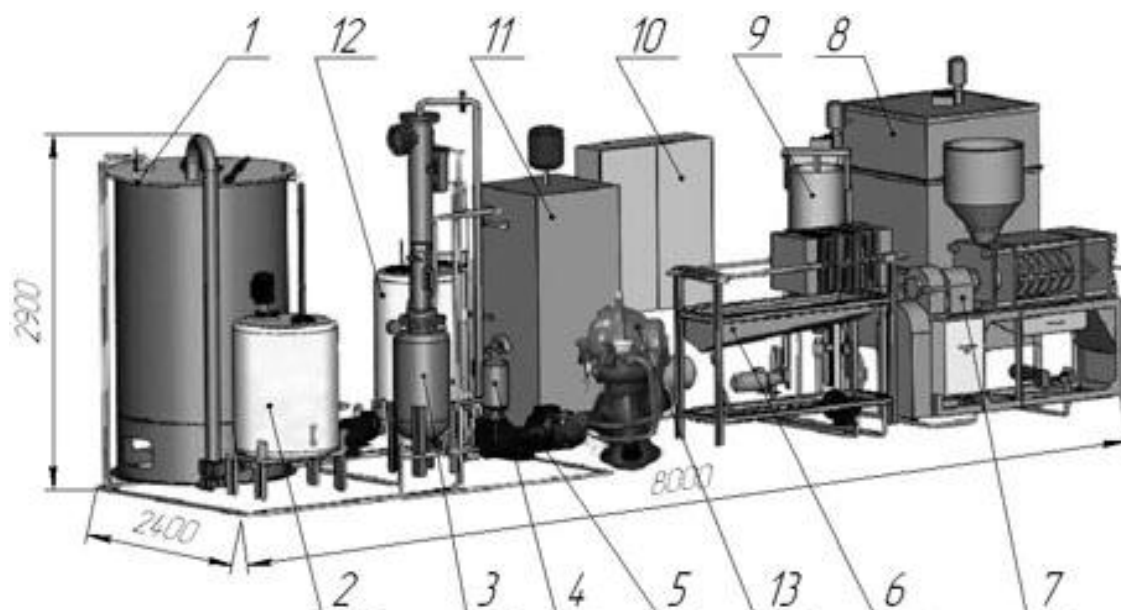
Марка заводу	Тип заводу	Продуктивність з біопалива, тонн / добу	Габаритні розміри, м	Маса обладнання, тонн	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання за потужністю	Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	Середній наробіток на відмову не менш, рік
МЗДП-1	Контейнерний модульний *	1,0 – 2,0**	8,0x2,4x2,9	6,5	44,09	0,50	1	2000
МЗДП-2	Те ж	2,0	9,0x2,4x3,0	6,75	48,5	0,65	1	2000
МЗДП-3	– // –	3,0	9,5x2,4x3,1	6,9	50,2	0,70	2	2000
МЗДП-4	– // –	4,0	10,0x2,4x3,2	7,2	52,5	0,70	2	2700
МЗДП-5	– // –	5,0	12,0x2,4x3,5	7,5	55,0	0,75	2	3000
МЗДП-10	стаціонарний	10,0	12,0x4,8x4,0	11,5	85,0	0,80	3	3000

\* Завод має масляничний, естерний і очисний модулі, для виробництва біодизеля які можуть поставлятися окремо

\*\* За умови комплектування двома додатковими ємностями для виробництва біодизеля об'ємом 1,2 м<sup>3</sup> для відстоювання палива

Наприклад, міні-завод з виробництва біодизеля продуктивністю 2 тонни біодизелю на добу (рис. 7.12), відзначається мобільністю і легкістю транспортування, працює біодизельна установка в автоматичному режимі, керована мікропроцесором, потребує невеликих витратах часу для введення в експлуатацію. Обладнання для виробництва біодизеля може бути змонтовано на опорній плиті.





- 1 – реактор; 2 – місткість для суміші метанолу та КОН;  
 3 – апарат ректифікації; 4 – адсорбер; 5 – вакуум-насос; 6 – фільтр-прес;  
 7 – прес для віджиму; 8 – місткість для накопичення олії; 9 – відстійник;  
 10 – шафа управління; 11 – водонагрівач; 12 – місткість для води;  
 13 – сепаратор

Рис. 7.12 – Загальна схема обладнання міні-заводу МЗДП-1 для виробництва дизельного біопалива

Технологічний процес або технологія біодизеля на обладнанні міні-заводу для виробництва дизельного біопалива МЗДП-1 (рис. 7.12) проходить наступним чином: насіння ріпаку автоматично, за допомогою шнекового транспортера, подаються на прес для віджиму 7, з якого олія надходить у відстійник-очищувач 9, де звільняється від шламу (фуза), який насосом повертається для додаткового віджиму в прес. Попередньо очищена олія з відстійника 9 для повного очищення від фосфатів подається у фільтр-прес 6, а потім у збірник чистої олії 8, в якому очищається абсорбентом "Фосфолісорб" і підігрівається до заданої температури. Підігріта і попередньо очищена олія насосом подається в реактор для виробництва біодизеля 1. Туди ж перекачується з ємності 2 розчин каталізатора в метанолі. При постійному кавітаційному змішуванні і підігріванні реагентів за допомогою водонагрівача 11 і водяного контуру, в реакторі проходить реакція переестерифікації олії, завдяки чому утворюються РМЕ (естери), які за своїми характеристиками близькі до нафтового дизельного мінерального палива.

Виготовлення біодизелю проходить наступним чином. У реакторі з палива видаляється гліцерин (сирий гліцерин), залишки каталітичного розчину і, за допомогою кислого або нейтрального мийного розчину, який

подається насосом з ємності 12, відбираються залишки мила, метанолу, поверхнево-активних речовин.

Отримані естери олії висушуються в ректифікаційному апараті 3, а залишки води та метанолу конденсуються в адсорбері 4. Метанол може повертатися до збірки 2, або нейтралізуватися в адсорбері. Звільнені від води та метанолу масляні естери, пройшовши крізь систему фільтрів, додатково очищуються від води і механічних домішок в сепараторі 13, адсорбуються сорбентом "Амберлайт" і подаються до збірної ємності для подальшого використання як дизельного біопалива.

Основні якісні показники виробленого біопалива наведені нижче.

Показник	Значення
Кінематична в'язкість за температури 40°C, мм <sup>2</sup> /с	3,50 – 4,75
Температура спалаху в закритому тиглі, °C	165 – 175
Щільність за температури 20°C, кг/м <sup>3</sup>	875 – 885
Цетанове число	52 – 54
Кислотне число, мгКОН/г	0,10 – 0,13
Коксування, %	0,15 – 0,25
Вміст метанолу, луки, води, сірки і механічних домішок	відсутні
Відповідність стандарту EN 14214	відповідає

### 7.3. Біоетанол. Перспективи виробництва та використання

**Біоетанол** – етиловий спирт, що виробляють з біомаси або біологічно розкладених компонентів відходів і використовують як біопаливо (хімічна формула  $C_2H_5OH$ ). Початок використання біоетанолу як палива йде з часу появи перших двигунів внутрішнього згорання. На сьогодні вже декілька відомих машинобудівних фірм (GM, «Ford», «Volkswagen», «Fiat») продемонстрували двигуни, що використовують як паливо виключно етанол. Більш широко етанол (зневоднений спирт) використовують як домішку до моторного бензину. Він покращує процес спалювання бензину, одночасно обмежуючи емісію оксидів вуглецю і азоту, а також вуглеводнів у вихлопних газах.

Органічні сполуки кисню – спирти і ефіри – визнані компоненти так званого чистого палива. Спирти додають до бензину безпосередньо або в перероблений в етилотетрабутиловий ефір (ЕТБЕ), чим підвищують ефективність згорання, знижуючи концентрацію CO у вихлопних газах. Спиртам властиво вище октанове число, ніж вуглеводним компонентам, що дозволяє зменшити вміст таких токсичних складових палива, як оксиди свинцю і ароматичні вуглеводні.

Етанол виробляють методом зброджування цукрів (глюкози, цукрози і деяких інших) в безкисневому середовищі спиртними дріжджами. Раніше майже весь етанол, виготовлений таким шляхом, використовували для виробництва алкогольних напоїв, і лише невеликі об'єми, отримані хімічними методами, застосовували в промисловості.

За останніх 25 років ситуація докорінно змінилася. Сьогодні понад половину виробленого в світі етанолу використовують як добавку до палива

для двигунів внутрішнього згоряння і лише 15% – для виготовлення алкогольних напоїв. Етанол із біомаси, який застосовують як паливо, називають **паливним етанолом** або **біоетанолом**.

По суті, він є абсолютизованим етиловим спиртом. Світове виробництво етанолу в 1998 році становило близько 32 млрд. літрів, з них 4 млрд. – харчового етанолу, 8 млрд. – для хімічної промисловості, 20 млрд. – паливного. Лише 7% загальної кількості було отримано методом хімічного синтезу, а 93% – дріжджовою ферментацією цукру і зерна. Цікаво, що обсяги виробництва харчового спирту залишаються незмінними з 1975 року, тоді як паливного етанолу збільшилися з 2 до 20 млрд. літрів у 1998 році.

Використання етилового спирту як енергоносія не є новиною. Свій перший автомобіль Генрі Форд сконструював на базі двигуна, який працював саме на такому спирті, а в умовах дефіциту палива під час Другої світової війни в Німеччині спирт додавали до бензину.

Проведений аналіз світового виробництва і споживання вуглеводневої сировини і біопалива показує, що середньорічні темпи зростання обсягів виробництва викопних видів палива за останні п'ять років становлять 1,6...2,8%, виробництво біоетанолу – 31,7%, а дизельного біопалива – 80,7%. Розвиток виробництва біоетанолу призвів до значного підвищення світового попиту на сільськогосподарську сировину.

Для отримання етанолу широко використовують зерно, цукровий буряк і цукрова тростина. Зростання світового ринку біоетанолу становить 25% в рік, у перспективі він конкуруватиме з нафтопродуктами. Під час його згоряння виділяється в 10 разів менше вуглекислого газу, ніж під час згоряння бензину.

У майбутньому очікується подальше зростання виробництва біологічного палива у деяких країнах, зокрема Бразилії, США і Канаді. У Бразилії етанол випускають на основі цукрової тростини, США – кукурудзи, Канаді – кукурудзи і пшениці.

У країнах ЄС темпи розвитку виробництва біологічного палива будуть не такими високими.

У США кожні 11 днів запускають новий біоетаноловий завод. Для виробництва цього палива необхідно збільшувати посіви кукурудзи, що позитивно позначається на доходах фермерів, збільшенні попиту на сільгоспмашини, особливо на ті, які потрібні для вирощування і збирання врожаю кукурудзи. У 2005 р. понад 30% палива, що продається в США, містило спирт. У 2006 р. 18% вирощеної в США кукурудзи (6 млн. га) пішло на виробництво етилового спирту. До 2009 р. цей показник зріс до 30%. І, що характерно, що ця тенденція зберігається. Підраховано, що в США, Канаді і країнах ЄС на заміну 10% споживання транспортного палива біологічним потрібно буде задіяно від 30 до 70% сільськогосподарських угідь, щоб отримати необхідну кількість початкової сировини.

Додатковий попит на сільськогосподарську сировину, ймовірно, вплине і на розвиток відповідних ринків. За оцінюванням експертів,

найбільші виробники біологічного палива – Бразилія, США, країни ЄС і Канада – в перспективі істотно скоротять експорт і/або збільшать імпорт такої сировини. В результаті до 2014 р. світові ціни на цукор можуть вирости приблизно на 60%, на зерно – на 4%, рослинні олії – на 20%.

Проте прогнозами не охоплені такі країни, як Індія і Китай, в яких виробництво біологічного палива може значно збільшитися в наступному десятилітті.

Сьогодні у деяких країнах на експериментальних заводах випускають біологічне паливо другого покоління, зокрема етанол із целюлози або рідкої біомаси. Сьогодні конверсійні витрати на виробництво дуже високі, проте в найближчих 10...20 років вони можуть істотно скоротитися.

Орієнтовно в Росії потужності з виробництва етанолу, який може бути використаний у складі бензину, становлять близько 320 тис. т (близько 1% від об'єму виробництва бензину), зокрема 200 тис. т гідролізного і 120 тис. т синтетичного етанолу.

«Чистий» етанол міцністю 95% і більше використовують як моторне паливо в порівняно невеликих об'ємах, найширше застосовують його різні суміші з бензином, що містять від 5...10 до 85...95% етанолу. При цьому здебільшого використовують отриманий з поновлюваних джерел рослинної сировини біоетанол.

Фахівці зазначають, що просування виробництва біоетанолу в Європі серйозно вплине на сільськогосподарський сектор. Якщо допустити, що в законодавчій базі дотримуватиметься баланс між біоетанолом і біодизелем і за тієї умови, що загалом європейські країни вироблятимуть 5 млн. т біоетанолу в рік, то потреба в пшениці становитиме близько 17 млн. т, тобто понад 10% загального її виробництва.

Особливої важливості в забезпеченні конкурентоспроможності виробництва набуває організація логістики постачань сировини.

З часом це може привести до збільшення об'єму інвестицій в ті галузі, які використовують імпорту пшеницю, що може позначитися на економічній ефективності виробництва. Відсутність вирощуваної у власному регіоні пшениці може стати обмежувальним чинником у реалізації нових проектів із виробництва біоетанолу в Європі.

У агротехніці пшениці, зокрема вирощуваної для виробництва етанолу, важливу роль відведено чергуванню культур, що необхідно враховувати під час підготовки проектів виробництва біоетанолу. Пшениця дуже вимоглива до вмісту в ґрунті живильних речовин, і її ефективне культивування потребує регулярного чергування культур. З цим зіткнулися у Великій Британії і Франції, але у виробництві біопалива пріоритет поки віддають біодизелю, а не етанолу. Під час вирощування пшениці один раз в три-чотири роки поля засівають конюшиною і (або) бобовими культурами, які сприяють накопиченню в ґрунті азоту.

У разі чергування пшениці з бобами після закінчення збору урожаю не зернову частину цих культур зазвичай заорюють в ґрунт, що дозволяє відновити баланс живильних речовин.

Перед європейською індустрією виробництва біоетанолу в короткостроковій перспективі виникне низка завдань, які необхідно вирішити для того, щоб виконати положення директив ЄС про біопаливо для транспортних засобів. Забезпечення постачання пшениці – завдання, актуальне для будь-якого проекту з виробництва біоетанолу. Для забезпечення максимальної прибутковості продажів сухої гранульованої барди і безперебійності постачань пшениці за конкурентоспроможними цінами вибір місця розміщення заводу має бути ретельно опрацьованим. Схема організації логістики з притиском на місцеву сировину і продажу сухої барди на місцевому ринку, швидше за все, матиме велику інвестиційну привабливість, ніж схема, побудована на імпорті сировини (за умови, що питання сівозміни і наявності достатнього обсягу пшениці будуть належним чином опрацьовані).

Проте, тільки наприкінці ХХ ст. з'явилися повномасштабні програми використання біоетанолу як палива для двигунів. У складі палива біоетанол дає змогу збільшити октанове число і поліпшити експлуатаційні характеристики змішаного бензину. Відомо, що використання такого бензину з вмістом до 15% етанолу не потребує зміни конструкції сучасних двигунів внутрішнього згорання і допоміжних приладів до них. Апробована концентрація етанолу в бензині коливається від 10% (США) і 8% (Канада) до 5...6% (Франція і Польща). Завдяки використанню змішаного бензину зменшується концентрація шкідливих компонентів у вихлопних газах (чадного газу, оксиду азоту і інших токсичних викидів, що випаровуються). Так, вміст оксиду вуглецю зменшується на 25%, вуглеводнів і оксидів азоту на 5%, що надзвичайно важливо для великих міст, де основним джерелом забруднення є автомобільний транспорт. Спалювання етанолу, отриманого з біомаси, не призводить до парникового ефекту, оскільки біомаса є CO<sub>2</sub>-нейтральною.

Сьогодні весь паливний етанол отримують методом зброджування цукрів (цукрова тростина) або сировини з вмістом крохмалю (в основному кукурудза).

США посідає друге місце після Бразилії з виробництва етанолу – палива, яке дає можливість щорічно економити близько 1,5 млрд. доларів на придбанні нафтопродуктів, забезпечувати стабільну роботу сільського господарства, створювати нові робочі місця за рахунок будівництва спиртових заводів і покращувати екологічну ситуацію. Ще в 1988 році в США був ухвалений закон про альтернативне моторне паливо, який поклав початок програмам зменшення витрат бензину новими автомобілями і програмам розробки нового палива. Зокрема, було вирішено виробити 20 тис. автомобілів, які могли б споживати паливо Е85 (85% етанолу і 15% бензину), і сьогодні в країні експлуатується понад 1,5 млн. таких транспортних засобів.

У 1990 році в США прийнятий закон про чисте повітря, відповідно до положень якого бензин має містити не менше 2% (за масою кисню)кисневмісних добавок (головним чином етанолу), що дає можливість знизити токсичність вихлопних газів. Поправками до цього закону було впроваджено федеральні знижки податкової ставки на рівні 0,54 долара США на галон чистого етанолу. З введенням у дію Акту про склад автомобільного палива у деяких містах США і Програми паливних окиснювачів ці знижки у більшості штатів поповнилися додатковими субсидіями для виробників етанолу. У мегаполісах (з населенням понад 1 млн.) взимку використовують тільки бензин із вмістом 10% етанолу (так званий Е-10, або газохол). Обсяг продажів газохола в країні становить 12% від загального обсягу продажів бензину.

Порівняно з Бразилією, виробництво паливного етанолу з кукурудзи в США менш прибуткове, хоча його собівартість за останні п'ятнадцять років зменшилася на 2/3. Навіть сьогодні в країні діють податкові знижки на паливний етанол, щоб зробити його дешевшим за бензин. Річна потужність спиртових заводів США з виробництва етанолу становить близько 7,5 млрд. літрів. Очікується, що в США виготовлятиметься близько 15 млрд. літрів цього продукту в 2010 році і 36 млрд. у 2020 р.

Країни ЄС щорічно виробляють 2 млрд. літрів етанолу, але як паливо використовується менше 10%. Дві комісії ЄС прийняли Директиви щодо використання біопалива країнами ЄС, так звані «бюдирективи» про обов'язковість вмісту біопалива. З-поміж інших до поновлюваних видів палива віднесено біоетанол і ЕТБЕ (етилтретбутиловий ефір-естеризований біоетанол). Майже всі зареєстровані в ЄС транспортні засоби технічно придатні для використання палива з добавкою до 15% біоетанолу або ЕТБЕ. У Франції прийнято Закон про чисте повітря, яке зобов'язує автомобілістів використовувати кисневмісні добавки до бензинів, перш за все етанол і ЕТБЕ. При цьому паливний етанол звільнений від внутрішніх податків. Приклад США переконує, що для підтримки рентабельності виробництва паливного етанолу потрібні державні субсидії, і це при тому, що сировина (кукурудза) там дуже дешева. Необхідно, щоб технологія його виготовлення стала дешевою і тоді він становитиме гідну конкуренцію бензину. Основними засобами зменшення собівартості етанолу можуть бути: інша сировина, комплексний підхід до утилізації побічних продуктів, виробництво і удосконалення технології алкогольної ферментації.

Заміна сировини полягає в тому, щоб замість зернових злаків використовувати біомасу рослин як трав'янистих, так і дерев, а також відходи сільського господарства, деревообробної промисловості і комунальні тверді побутові відходи. Розрахунки показують, що використання таких відходів дозволило б США замінити етанолом 40% бензину. Спеціальне вирощування певних дерев (вільха, осика тощо) і трав'янистих рослин (наприклад, сорго) для подальшої переробки в паливний етанол змогло б забезпечити останні 60% його потреби.

Україна має великий потенціал біомаси, придатної до енергетичного використання, зокрема відходи сільського господарства (солома, качани кукурудзи, лушпиння соняшнику й інших масляничних культур), тверді побутові відходи, які переважно складаються з лігноцелюлози. Сировиною для паливного етанолу може бути також меліса (її об'єми становлять близько 2 млн. т/рік), зернові культури, картопля, фрукти, спеціальні технічні культури.

Україна є великим виробником харчового спирту. Річна сумарна потужність спиртових заводів становить близько 700 млн. літрів спирту, зокрема 340 млн. виробляють заводи з переробки меліси. На жаль, велика кількість таких підприємств працює з неповним навантаженням або взагалі простоює. У перспективі їх потужності можна спрямувати на виробництво паливного етанолу з лігноцелюлози, але цей процес має бути рентабельним. Очевидно, що ціна біоетанолу залежатиме як від податкової політики держави, так і його собівартості, на що, у свою чергу, впливатиме технологія виробництва.

Концепція виробництва біоетанолу в Україні включає декілька напрямів. Реконструкція існуючих спиртових заводів дозволить довести виробництво паливного етанолу до 0,3 млн. т/рік. Крім того, планується будівництво таких заводів малої потужності (до 5 т етанолу за добу) на базі підприємств переробної промисловості і безпосередньо в сільських господарствах. Пуск в експлуатацію нових технологічних ліній малої потужності дасть можливість отримувати 0,05 млн. т/рік цього продукту. Виробництво також доцільно розміщувати на цукрових заводах, що діють.

Їх теплосилове господарство може обслуговувати спиртові цехи і в період між сезонами – виробництва цукру. Донедавна часу в Україні працював 191 цукровий завод, 75 з яких поступово до 2010 року можна дообладнувати відділеннями з виробництва паливного етанолу, що розширить період використання технологічного оснащення, яке традиційно працює лише три-чотири місяці в рік. Дооснащення цукрових заводів відповідними технологічними лініями дасть можливість отримувати 1,65 млн. тонн етанолу в рік. Таким чином, з урахуванням всіх напрямів концепції, в Україні можна було б отримувати 2 млн. т/рік біоетанолу.

У нашій країні вже виконано значний об'єм робіт по розробці і впровадженню технології виробництва аналога паливного етанолу високооктанової кисневмісної добавки до бензину (ВКД), яку отримують біоконверсією вуглеводневмісної поновлюваної сировини. Технологія отримання ВКД розроблена українськими вченими і освоєна на семи спиртових заводах України з сумарною добовою потужністю понад 120 т. Термін окупності реконструкції браго ректифікаційних установок цих заводів не перевищував півроку. Оскільки меліса дешевша за зерно, то на ВКД переробляли саме її, а із зерна отримували ректифікований спирт для високоякісних алкогольних напоїв. Із збільшенням виробництва зерна в Україні і за умов його комплексної переробки за ефективними технологіями з

отриманням сухої зернової барди, цілком економічно виготовляти ВКД з крохмалевмісної сировини. Перспективна сировина для цього – цукрове сорго.

Виконані в Україні експлуатаційні, стендові і дорожні випробування підконтрольної групи автомобілів на змішаних бензинах дають підстави дійти висновків: експлуатаційні властивості автомобілів, які працюють на змішаних бензинах з додаванням 6% ВКД, практично не погіршуються порівняно з тими, які працюють на товарних бензинах А-92 і А-76; підвищується октанове число змішаних бензинів; не зафіксовано негативного впливу тривалої роботи автомобілів на технічний стан і стабільність регулювання паливної апаратури; зменшується концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах: оксидів азоту  $\text{NO}_x$  на 4,5..16%, ароматичних вуглеводнів  $\text{C}_m\text{H}_n$  на 9...15% (залежно від типу бензину і двигуна).

Технічний комітет із стандартизації і допуску до застосування продуктів нафтопереробки і нафтохімії «Нафто-Стандарт» дав дозвіл на застосування в бензинах 6% ВКД. Його виробництво і застосування стимулює і Указ Президента України від 22 червня 1999 року № 688/99 «Про організацію виробництва бензину в моторних сумішах», що передбачає істотну знижку в оподаткуванні виробникам ВКД і змішаних екологічних бензинів з її застосуванням, що, безумовно, позитивно впливає на темпи зростання об'ємів виробництва ВКД.

Мінімальна потреба ВКД в Україні становить 100 тис. т/рік, оптимальний обсяг споживання – 250...300 тис. т/рік, що забезпечує виробництво і використання 1,7...5,1 млн. т змішаних бензинів.

Фахівцями «Укрспирту» за участю науково-технічних установ і за підтримки держави розроблено і ухвалено Кабінетом Міністрів від 4 липня 2000 року за № 1044 програму «Етанол», спрямовану на виробництво спиртовими заводами нових видів продукції і пошук нових ринків збуту. Ця програма об'єднує стратегію виробництва ВКД, технічного спирту і продукції з його використанням (етилену, етилгліколя, синтетичного каучуку, «біодизеля», продуктів тонкого органічного синтезу) з напрямками зменшення собівартості етилового спирту і комплексного безвідходного використання сільськогосподарської сировини. Перераховані виробництва на основі спирту конкурентоздатні за вартістю спирту 220...230 доларів США за тонну. Програмою «Етанол» передбачено організацію виробництва ВКД як добавки до бензинів на спиртових заводах, які переробляють мелісу, і на деяких зернових заводах загальною продуктивністю понад 350 тис. т у рік. Це дозволить отримувати близько 6 млн. т змішаних бензинів.

Цей напрям виробництва рідкого біопалива інтенсивно розвивається в багатьох країнах.

Застосування зневодненого спирту як добавки до бензину для двигунів розпочалося в Польщі ще в 1928 році. У США введено так звані Clean Air Act, які зобов'язують виробників рідкого палива збільшувати вміст



«кисневих добавок» у бензині для поліпшення коефіцієнта спалювання вуглеводнів, що зменшує емісію забруднень в навколишнє середовище.

Відповідно до рішень Європарламенту (Директива 2003/30/ЕС з використання на транспорті біопалив або інших поновлюваних джерел енергії) в найближчій перспективі частка біоетанолу і ефірів рослинного походження в загальній витраті рідких палив буде динамічно і стабільно зростати. Слід зазначити, що вартість виробництва біоетанолу в Європі оцінюється в 1700 Євро/т (0,4...0,8 Евро/дм<sup>3</sup>), де частка вартості сировини становить 55...70%. Таким чином, вартість виробництва біоетанолу вища приблизно вдвічі вартості отримання метилового спирту. А виробництво 1 тонни ефіру ЕТВЕ пов'язане з витратою майже 415 кг етанолу. Не дивлячись на те, що вартість виробництва біоетанолу за останнє десятиліття значно зменшилася, вона, як і раніше, залишається високою.

Витрати на виробництво біоетанолу залежать не тільки від вартості сировини, але від масштабів виробництва (на заводах із продуктивністю 120...150 Гл/год витрати удвічі менше порівняно з тими, де продуктивність становить 60...80 Гл/год). Під час аналізу виробництва біоетанолу слід підкреслити значні капітальні витрати (майже 25%) і витрати енергії (майже 10%). Прибуток, отриманий від продажу висушеної барди як цінного корму, дозволяє зменшити на 15...20% витрат на безпосереднє виробництво біоетанолу.

Бар'єром, що обмежує подальше удосконалення сучасних способів виробництва біоетанолу мікробіологічними методами (ферментаціями), є отруєння бактерій власними відходами: у разі перевищення межі в 12...15% вмісту спирту процес ферментації припиняється.

Найбільш перспективним вважають виробництво біоетанолу ензиматичними методами з лигніноцелюлозних матеріалів, таких як солома, дерево з енергетичних лісів тощо. Не дивлячись на проведені дослідження, ці економічно ефективні методи виробництва ще не введено в широку практику. Головною перешкодою є висока ціна отримання бактерій, які утворюють високопродуктивні ферменти. Останніми роками завдяки розробленому методу зворотного осмосу із застосуванням сепарації, що використовує синтетичні мембрани із спеціально структурованих полімерів, досягнуті успіхи в розділенні фаз компонентів ферментації. Мокрий помел зерна з використанням мембранної сепарації дозволяє скоротити процес цукрування і тим самим знизити витрати приблизно на 10...15%. Чималі надії покладають також на виробництво біоетанолу з деревини і енергетичних рослин методами швидкого піролізу.

Доповнення ринку енергетичних продуктів в Україні біоетанолом є важливою перспективою, особливо з урахуванням можливостей щодо розширення виробництва сільськогосподарської продукції для власних енергетичних потреб. Головною рушійною силою, що стимулює додавання спирту до бензину, є економічне заохочення (понижена ставка акцизного

податку для виробників бензину, що додають етанол до бензину в об'ємі від 4,5 до 5%).

### 7.3.1. Сировина для виробництва біоетанолу

Біоетанол є етиловим спиртом, що утворюється під впливом ферментів у біополімерах. Біополімери – це загальна назва макромолекулярних з'єднань, що існують у живій природі (білки і полісахариди). Ферменти є природними речовинами, що виконують роль каталізаторів (біокаталізаторів), і виробляються дріжджами. Синтетичний етиловий спирт можна виробляти також за допомогою каталітичної гідратації етилену.

Під час виробництва біоетанолу використовуються такі компоненти біомаси, як вуглеводи і лігнін. Вуглеводи виступають у формі простих цукрів і полімерів цукрів. Прості цукри, такі, що містяться в біомасі, – це, зазвичай, цукроза і глюкоза, аполімери цукрів – крохмаль, целюлоза і геміцелюлоза. Процесам спиртової ферментації піддаються тільки прості цукри шляхом гідролізу. Гідроліз полягає в розкладанні полімерів цукрів у воді або водних розчинах, зазвичай, з додаванням кислот.

Біоетанол можна виробляти з крохмалю – полісахариду, який є продуктом засвоєння  $\text{CO}_2$  в клітинах рослин, змінюється під впливом гідролізу в декстрини, потім в мальтозу і, нарешті, в глюкозу; целюлози – полісахариду, який міститься у всіх вищих рослинах і становить 40 – 50% маси клітинних оболонок, гідролітично і ензиматично розщеплюються на глюкозу (складна технологія); геміцелюлози – полісахариду, 20...40% маси клітинних стінок, під дією гідролізу він перетворюється на ксилолу (деревинний цукор), а потім – в пентозу. Невисока ефективність перетворення целюлози і геміцелюлози в цукри пояснюється будовою стінок клітин, в яких лігнін «покриває» ці компоненти і ускладнює доступ ферментів до розчину речовини складної структури, що становлять 20...5% маси клітинних стінок рослин, особливо таких матеріалів, як дерево, солома або міскант.

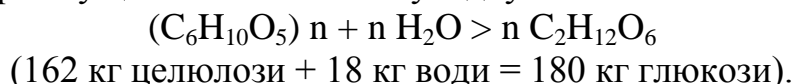
Тому гідроліз лігніно-целюлозної біомаси, зазвичай, ретельного подрібнення сировини, вищої температури і тиску, «сильніших» кислих каталізаторів. Теоретично з 100 кг деревини можна отримати 50 кг глюкози і 25 кг ( $35 \text{ дм}^3$ ) етанолу, але насправді отримують до 75% цієї кількості: 26 л спирту з 100 кг деревини.

Біоетанол можна виробляти такими методами: гідролізом і ферментацією, проведеними як окремі процеси (під час гідролізу додають ферменти або кислоту); зацукровуванням і ферментацією, що проводяться разом; екзимічною ферментацією, коли ферменти використовують для гідролізу і ферментації.

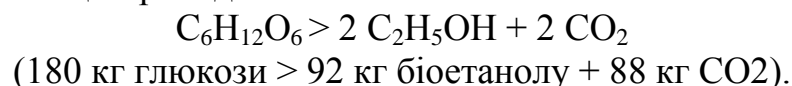
Найбільш поширеним методом виробництва біоетанолу є метод гідролізу полісахаридів у прості цукри (мальтози з крохмалю зернових і картоплі, цукрози з меляси і буряку, а також целюлози з дерева). У меншому масштабі застосовують процеси гідролізу целюлози з геміцелюлози, а також

ензиматичний гідроліз целюлози з використанням лігніну як твердого палива для виробництва тепла під час процесу.

Процес гідролізу целюлози в глюкозу відбувається таким чином:



Процес спиртної ферментації полягає в перетворенні простих цукрів (глюкоза, фруктоза) під впливом ферментів в етанол і CO<sub>2</sub>. Теоретично процес цієї ферментації проходить таким чином:



Сировинною базою для підприємств з виробництва біоетанолу можуть бути культури, що вирощуються в районах, непридатних для виробництва продуктів харчування. Ефективність отримання біоетанолу з одиниці площі залежить від виду рослин (табл. 7.16).

**Таблиця 7.16 – Ефективність виробництва біоетанолу з різних культур**

Культура	Врожайність, т/га	Вміст крохмалю або цукру, %	Виробництво біоетанолу		Виробництво енергії, ГДж/га
			дм <sup>3</sup> /т	т/га	
Жито	2,8	62	390	0,9	26
Пшениця	6,0	58	350	1,8	52
Картопля	16,0	18	115	1,5	44
Кукурудза, вологістю (W = 12%)	8,0	60	380	2,5	72
Кукурудза, вологістю (W=30 – 35%)	11,0	45	310	2,5	72
Цукровий буряк	50,0	16	85	3,3	96

Джерелами цукрів для спиртової ферментації можуть бути також дерево, рослинні відходи й інші матеріали, що містять целюлозу. На вартість виробництва біоетанолу значно впливає ціна первинної сировини, тому в багатьох країнах ретельно розробляють методику виробництва біоетанолу з деревини, що вирощується в енергетичних лісах, а також відходів деревини.

Ця сировина, окрім вуглеводів, містить значну кількість лігніну, смол і фенолу. Загалом технологія отримання біоетанолу складається з двох основних етапів, а саме: виробництво спирту-сирцю і обезводнення етанолу. Технологія виробництва спирту сирцю передбачає очищення етанолу від домішок методом дистиляції.

Отриманий таким чином спирт містить близько 4% об'єму води. Склад цієї суміші змінюється залежно від тиску. Проте, методом ректифікації

неможливо отримати зневоднений етиловий спирт, саме такий, який потрібний як добавка до палива. Теоретично зневоднений спирт можна отримати з використанням вакуум-апаратів, але їх розробка, а також «отримання» вакууму дорого коштують.

Для обезводнення спирту можна застосовувати вапно, гіпсі інші з'єднання, що приєднують воду, проте, великі втрати етанолу під час регенерації зневоднювальних засобів не дають цим методам практичного значення.

За останні роки з'явилися методи отримання зневодненого спирту за допомогою молекулярних сит і напівпроникних плівок, але висока вартість сит і клопіт із їх регенерацією є причиною того, що вони і досі залишаються на експериментальному рівні.

Заводи – виробники зневодненого спирту, можуть дегідрувати водні спирти, які виробляються на невеликих сільськогосподарських установках з різної сировини. У табл. 7.17 наведено дані про потенційні можливості сільськогосподарських культур у виробництві біоетанолу.

**Таблиця 7.17 – Потенційні можливості сільськогосподарських культур у виробництві біоетанолу**

Сільськогосподарська культура	Урожай (тон/га/рік)	Етанол (л/тон)	Етанол (л/га/рік)
Цукрова тростина	50 – 90	70 – 90	3500 – 8000
Цукровий буряк	15 – 50	90	1350 – 5500
Кормовий буряк	100 – 200	90	4400 – 9350
Пшениця	1,5 – 2,1	340	510 – 714
Ячмінь	1,2 – 2,5	250	300 – 625
Рис	2,5 – 5,0	430	1075 – 2150
Кукурудза	1,7 – 5,4	360	600 – 1944
Сорго	1,0 – 3,7	350	350 – 1295
Картопля ірландська	10 – 25	110	1110 – 2750
Виноград	10 – 25	130	1300 – 3250

Потенційні можливості виробництва біоетанолу в світі відповідно до технологій (0,42 м<sup>3</sup> з тонни біомаси) оцінюються в 2 млрд. тонн. Розробка в найближчі 10 – 15 років методів, які дозволять переробляти лігніни біомаси, збільшить виробництво біоетанолу в 2,5–3 рази. Така кількість біоетанолу покриє 35 – 40% нинішнього споживання нафти.

### 7.3.2. Технології виробництва біоетанолу

Виробництво біоетанолу складається з послідовного виконання процесів підготовки сировини, ферментації з дистиляцією, дистиляції з ректифікацією і дегідратації етанолу. Узагальнену структурну схему процесу виробництва етанолу наведено на рис. 7.13

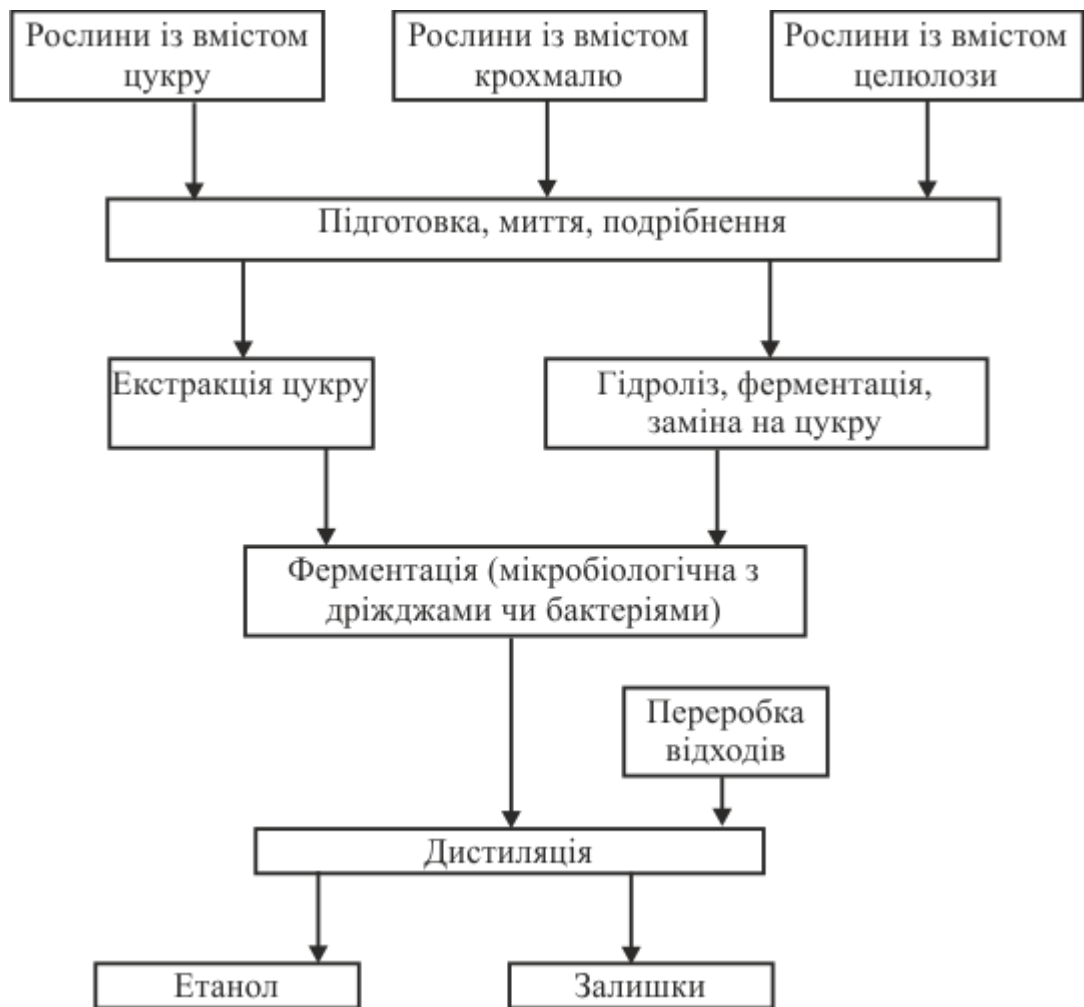


Рис. 7.13 – Схема виробництва біоетанолу

Операції, пов'язані з приготуванням сировини, полягають в її митті і подрібненні. Потім біомасу спрямовують у камери ферментації. Обсяг підготовчої роботи залежить від виду сировини. Найбільш складною є підготовка картоплі, яку перед ферментацією необхідно запарити, після чого змішати з солодом і підігріти.

Найбільш простою є підготовка меляси, яка полягає в розчиненні її водою, заквасці і додаванні живильних речовин для дріжджів. У результаті утворюється так звана патокова брага, яку потім заливають безпосередньо в камери ферментації. Схему технологічного процесу отримання біоетанолу з патоки представлено на рис. 7.14.

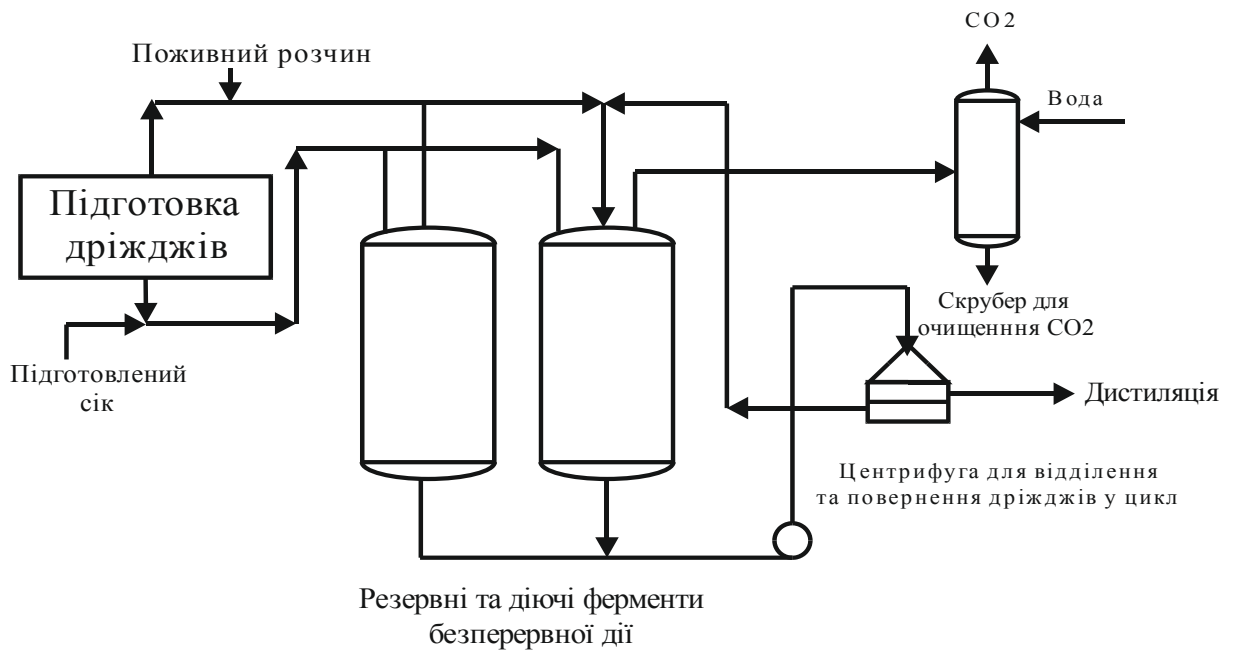


Рис. 7.14 – Схема виробництва біоетанолу з безперервним процесом збродження субстрату

Під час підготовки зерна до переробки в біоетанол його спочатку розмелюють сухим або мокрим способами. Після сухого помелу (часто застосовують для пшеничного і ячмінного зерна) подрібнена маса піддається гідролізу і ферментації.

Після мокрого помелу отриману масу розділяють на фракції (крохмальну, клейковину і волокнисту). У свою чергу крохмальна фракція розділяється на дві частини, з яких менша призначається для гідролізу і ферментації, а більша – для продуктів харчування.

Проведена у такий спосіб переробка і ферментація підвищує економічну ефективність процесу. З цієї самої причини у разі мокрого помелу із зерна кукурудзи відділяють зародки і вижимають з них олію високої харчової цінності.

У разі використання сухого помелу із 100 кг зерна злаків отримують приблизно 33 дм<sup>3</sup> біоетанолу та 27 кг кормів. У разі використання мокрого помелу є можливість отримувати 36...38 дм<sup>3</sup> етанолу, 20 кг кормів, 4 кг клейковини і 2 кг олії із зародків кукурудзи. Збільшення кількості етанолу у разі мокрого помелу, пояснюється кращим використанням целюлози, яка становить майже 9,5% сухої маси зерна злаків.

Ферментація триває, зазвичай, 48...72 години. Зброджену зернову масу, так зване сусло, спрямовують в перегінний апарат, відганяють з неї неочищений спирт, використовуючи різницю температур кипіння спирту (78,3°C) і води. Неочищений спирт містить лише 88...94% алкоголю за об'ємом, а залишок становить до 40 побічних продуктів ферментації.

Наступною фазою є виділення спирту із залишку методом ректифікації, тобто введенням в неочищений спирт хімічних сполук (NaOH і KMnO<sub>4</sub>) і

повторну дистиляцію. Звичайними методами ректифікації із спирту-сирцю неможливо повністю видалити воду, оскільки етиловий спирт (95,57% мас) і вода (4,43% мас) утворюють суміш, склад якої за подальшої дистиляції не піддається змінам. Характерною властивістю цієї суміші є її здатність до зміни складу під дією підвищеного тиску, у наслідок чого вода і етанол піддаються розшаруванню.

Ця особливість серйозно ускладнює застосування цієї суміші як моторного палива. Серед безлічі різних методів дегідратації спирту найбільш поширеним є метод дистиляції з додаванням елементів аеротропів (бензолу, вузько фракційного бензину). Ця суміш утворює разом з водою і спиртом трикомпонентний розчин, що кипить за нижчої температури, що дозволяє виділити безводний етанол.

Для дегідратації спирту застосовують установки, що складаються із зневоднювальної колони, яка відокремлює аеротропи, і комплекту дефлегматорів, конденсаторів та охолоджувачів. Операція зневоднення – процес енергоємний і дорогий.

Слід пам'ятати, що важливою і необхідною умовою гідролізу целюлози, що міститься в деревині, є подрібнення і висушування, а також оброблення теплом, кислотою і ферментами. Отримані цукри перед ферментацією концентрують за допомогою випаровування.

На діючих сьогодні установках із однієї тонни сухої маси деревини одержують 230...320 кг біоетанолу, що відповідає використанню майже 90% цукрів із вхідної сировини.

Детальний проект системи ферментації може бути розроблений після того, як буде вибрано сировину. Залежно від цього використовується різне устаткування.

Перед переробкою велика частина твердих матеріалів подрібнюється. Для подрібнення зернової сировини, зазвичай, використовують дискові млини, плоскі плити, що обертаються, з виступаючими зубами для розриву зерен. Відділення соку цукрової тростини або ретельне подрібнення целюлози, щоб добитися прийнятних виходів, здійснюється за допомогою кульових млинів або шляхом оброблення сильними розчинниками.

Після подрібнення субстрат піддається гідролізу для утворення ферментованих цукрів із вуглеводних полімерів. Найбільш ферментованою частиною зерен злаків є крохмаль, який після обробки високотемпературними ферментами на етапі «варива» повністю зріджується. Гідроліз завершується утворенням глюкози за допомогою другого ферменту. Під час ферментації целюлози також утворюються стійкі до розкладання тверді залишки. У сучасних умовах целюлоза може бути гідролізована за допомогою ферментів або кислот у процесах, складніших, ніж гідроліз крохмалю. У разі отримання соку цукрової тростини або меляси немає необхідності в гідролізі, оскільки твердий залишок, що утворюється, є ферментованим. Після подрібнення і суспендування або розчинення субстрат має бути звільнений від конкурентних мікроорганізмів. У тих випадках, коли

для стерилізації субстрату недостатньо високотемпературного гідролізу, проводять самостійну стерилізацію. Ця операція може бути здійснена у ферментерах періодичної дії з підведенням рідкого середовища перед ферментацією після нагрівання. Проте при цьому скорочується робоча ємкість ферментера. У разі безперервної ферментації необхідна попередня стерилізація субстрату; для розчинних субстратів можуть використовуватися стандартні теплообмінники і ємкості з належним часом утримання. Для стерилізації твердих субстратів, що створюють суспензії, потрібне складніше устаткування, оскільки має забезпечуватися прогрівання всієї маси.

Кінцева стадія підготовки сировини полягає в його розбавленні для отримання певної концентрації твердих речовин, здібних до ферментації. Концентрація визначається здатністю мікроорганізмів витримувати дію етанолу, що утворюється, за експлуатаційних умов ферментації. Такі умови встановлюються на підставі балансу між великою продуктивністю за високої концентрації і великими виходами за низької концентрації сировини. Деякі види сировини можуть піддаватися тільки такій ферментації. У разі ферментації сировини з хлібних злаків неферментовану частину, зазвичай, також доводиться пропускати через ферментер. Витягання дріжджових клітин з твердих речовин, що містяться в рідкій фазі ферментації, за безперервної рециркуляції неефективно і не економічно. Суспендовані субстрати чутливі до забруднення, якому легко запобігти під час періодичної ферментації. Для періодичної ферментації потрібна низка ферментерів, що діють послідовно. У типових випадках повний цикл ферментації в одному апараті періодичної дії продовжується 2–3 доби. Ємкість апарату має бути такою, щоб забезпечувалася ферментація сировини у присутності продуктів, що відходять, а решта частини установки експлуатувалася на безперервному потоці. Тому для проведення періодичного процесу використовуються ферментери великої ємкості.

Така ферментація здійснюється, зазвичай, під час використання розчинної сировини. У разі розчинної сировини рециркуляція дріжджових клітин не викликає ускладнення, і, крім того, легше здійснюється його стерилізація. За безперервної ферментації потрібне складніше контрольно-вимірвальне устаткування і устаткування для витягування дріжджів. Проте витрати на придбання цього обладнання в малих установках компенсуються за рахунок менших капіталовкладень на споруду ферментерів меншої ємкості.

Для нормального виробництва етанолу важливе значення має наявність відповідного штаму дріжджів. Дріжджі можуть купуватися або вироблятися на місці. Економічно, мабуть, вигідніше розводити штаб в середовищі, де переробляється субстрат. В цьому випадку штаб пристосовується до субстрату і навколишніх умов. Для приготування посівних культур з достатньою кількістю дріжджових клітин використовують ферментери меншого розміру, ніж для ферментації субстрату. Система вирощування дріжджів як посівного матеріалу включає низку ферментерів і устаткування



для перенесення посівної культури без забруднення. У періодичному процесі інокуляція проводиться для кожної ферментації. У безперервному процесі велика частина дріжджових клітин виділяється з рідкого середовища і використовується для зростання культури у ферментері.

Утворення дріжджових клітин здійснюється, зазвичай, центрифугуванням. Дріжджі, що втрачаються, заповнюються новими з системи вирощування, яка значно менше ніж потрібно було б для періодичних процесів з такою самою продуктивністю. У рециркуляційному процесі споживання субстрату для вирощування дріжджів знижується.

Зазвичай, етанол отримують відгоном, і, ймовірно, цей спосіб застосовуватиметься і в найближчому майбутньому. Відгін проводиться в колонах шляхом послідовного відділення етанолу від інших компонентів рідкої фази.

У першій колоні відділяються продукти ферментації (головним чином етанол) і деяка кількість води від неферментованих твердих речовин у рідкій фазі (барді). Ця колона, зазвичай, називається «Пивним перегінним кубом». Бажано, щоб на цьому етапі з рідкого середовища був відігнаний весь етанол. Для відділення твердих речовин з рідкої фази, рухомої вниз, передбачена відпарна секція.

Послідовність перегінки після «пивного перегінного куба» залежить від вимог, що ставляться до етанолу. Під час виробництва харчового етанолу останній має бути очищений відповідно до вимог стандартів на етанол або продукту, в якому він буде використаний.

Під час виробництва етанолу промислового при значення необхідно видалити з нього всі забруднювальні речовини, зокрема сивушні масла, які є побічними продуктами ферментації. У разі отримання безводного етанолу до очищеного продукту додають речовини, що руйнують водно-етанольну азеотропну суміш. Етанол і азотоутворювальні компоненти відокремлюють один від одного в наступній колоні. У стандартних умовах для виробництва безводного етанолу потрібна принаймні чотирикратна перегонка.

Етанол, призначений для використання як паливо, не має містити воду. Водночас передбачається, що з такого етанолу немає необхідності відокремлювати сивушні масла. Тому перегінна система для отримання етанолу, призначеного для використання як паливо, включає «пивний перегінний куб» з ректифікацією і колони для азеотропної перегінки і відпарювання.

Кількість енергії, що витрачається на очищення етанолу, визначає кількість колон, що діють. У кожній колоні для підтримки заданої рівноваги пари і рідини над тарілками витрачається значна кількість теплової енергії. Тому з енергетичної точки зору важливе значення має специфікація на готовий продукт. Залежно від специфікації і гнучкості установки для виробництва ширшого асортименту продуктів експлуатаційні витрати можуть зрости більше або менше.

За наявності ринків збуту реалізація побічних продуктів може принести значні доходи. При цьому не виключено, що для задоволення вимогам, які пред'являє споживач до побічних продуктів, виникає необхідність у розширенні етанольного заводу і об'єднанні його з цехами для виробництва побічних продуктів.

У процесі ферментації може бути отриманий діоксид вуглецю високої чистоти. Для збуту цього газу його необхідно очистити і компримувати в балони. Не дивлячись на те що діоксид вуглецю є цінним побічним продуктом, ринки збуту його локалізовані, і тому кількість діоксиду вуглецю, одержуваного на великих ферментаційних установках, не завжди може бути реалізовано. Споруда установки для отримання діоксиду вуглецю повинна бути економічно обґрунтованою.

Навіть у тих випадках, коли діоксид вуглецю не отримують як побічний продукт, гази, що відходять, мають бути очищені від зосередженої рідини, а концентрація речовин, що містяться в них, які сприяють забрудненню атмосфери, не має перевищувати встановлені норми.

Донні залишки в «пивному перегінному кубі» краще всього використовувати безпосередньо. Проте в цьому випадку необхідне одночасне проведення таких операцій, як іригація полів і виробництво кормів. Потoki, що відходять, можуть бути використані для анаеробного виробництва метану або для аеробного виробництва одноклітинного протеїну, що дозволяє компенсувати витрати на обробку цих відходів із високою біологічною потребою кисню.

У тих випадках, коли як сировину використовують хлібні злаки, побічним продуктом для збуту на ринку може бути барда, що потребує додаткових витрат на її обезводнення. Білки та інші тверді речовини, що отримують із злаків, збагачуються протеїном, зосередженим в дріжджових клітинах. У такий спосіб, згідно з даними, можна отримувати високоякісні добавки до корму тварин. Оскільки обезводнення цього матеріалу обходиться досить дорого, він виробляється лише для зниження витрат на одиницю маси протеїну під час транспортування на великі відстані.

В даний час активний розвиток отримали технології виробництва автомобільного палива – біоетанолу – з вуглеводовмісної сировини та біодизеля – з олійних культур. Перспективною може стати технологія біологічного палива з лігноцелюлози (відходи деревини, солома злакових культур та ін.). Так, у Швеції, Данії та Іспанії за цією технологією вже працюють 3 експериментальних заводи. Створення ринку біологічного палива має певні переваги, оскільки передові технології будуть затребувані як в країнах, що не мають природних родовищ, так і в нафто- і газодобувних. За собівартістю біопаливо дешевше природного та екологічно безпечніше.

На рис. 7.15 та рис. 7.16 представлені принципові схеми отримання біоетанолу з бурякоцукрової меляси і пшениці.

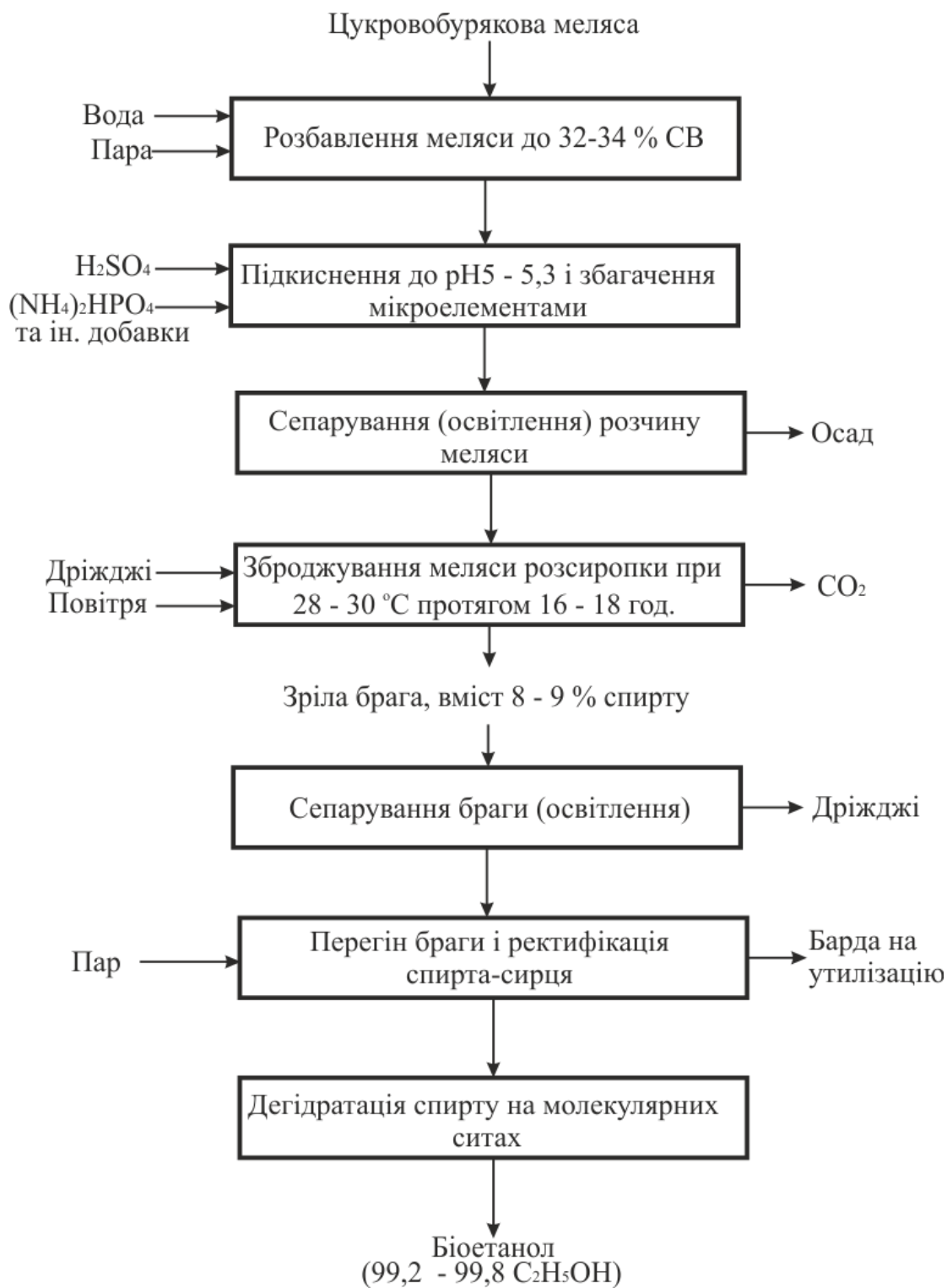


Рис. 7.15 – Схема отримання біоетанолу із бурякової меляси

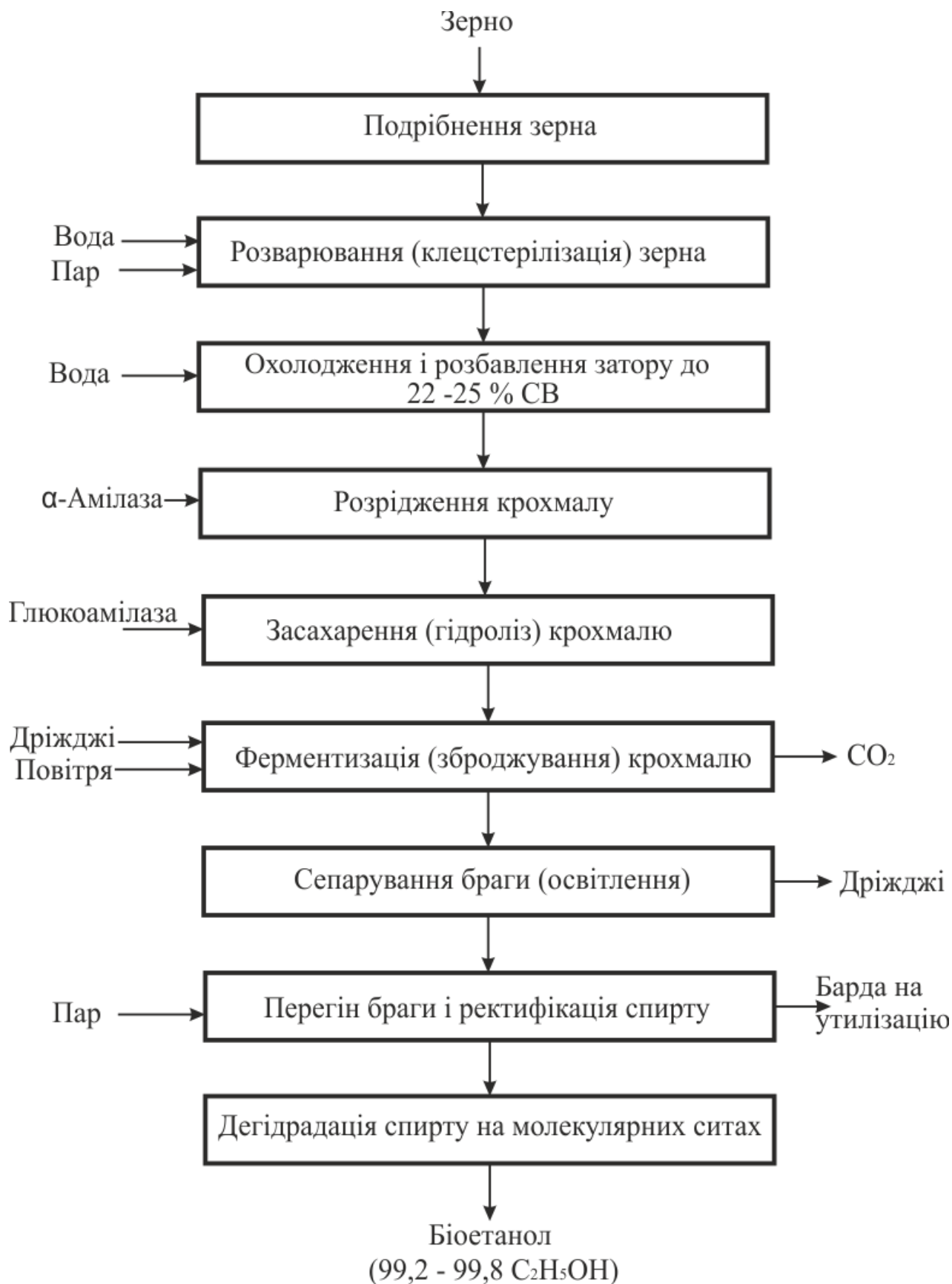


Рис. 7.16 – Схема отримання біоетанолу із зерна пшениці (кукурудзи)

Моторне паливо «біодизель» готують з рослинних олій за спрощеною схемою: 90 частин рослинної олії (рапсова, соняшникова, кукурудзяна, пальмова), 9 частин метилового спирту і 1 частина луку. Все це перемішують при кімнатній температурі до розшарування маси (вгорі будуть знаходитися моноєфіри (біодизель), внизу – гліцерин).

За допомогою бактерій виробляють ще й біобутанол (бутиловий спирт,  $C_4H_9OH$ ). У виробництві він менш витратний і легко змішується з бензином, етанолом. Його додають в бензин у великих кількостях (11...12%) без модернізації двигуна. У присутності води суміш «бензин-бутанол» менш розшаровується, ніж «бензин-біоетанол».

Виробництво моторного палива з відновлюваної органічної сировини в світі розвивається швидко. Ініціатором цього напрямку стала Бразилія, яка ще в 70-і роки ХХ століття прийняла програму використання біоетанолу з цукрової тростини в якості автомобільного палива. В даний час в Бразилії замінюють до 20...25% бензину біоетанолом.

Французькі промисловці інвестували 1 млрд. євро в будівництво 10 заводів з виробництва біологічного пального з цукрового буряка і олійних культур.

Половину врожаю ріпаку в Євросоюзі переробляють на біодизель. Вважають, що в холодну пору року паливо з геномодифікованого ріпаку – найкраща добавка до дизельного палива.

У Канаді станом на 2010 рік вироблено близько 500 тис.  $m^3$  біодизелю з сої при потребі 1,25 млн.  $m^3$ .

У Малайзії, Індонезії, Сінгапурі та інших країнах розширюють посівні площі олійних пальм. Передбачається, що на 90 заводах з продукування пальмової олії вироблятимуть дизельне паливо.

В Австралії, Таїланді, Бразилії розширюють посівні площі цукрової тростини. А сільське господарство швидко переорієнтовується на виробництво сировини для біопалива.

Японія та інші густонаселені країни планують закуповувати біоетанол в інших країнах, щоб не збільшувати викиди парникових газів на власних територіях.

В Україні планують на базі старих спиртових заводів створити концерн з виробництва біоетанолу. Але собівартість його буде значно вище, ніж на новому обладнанні.

Ініціатором розвитку біоетанольної галузі в країнах СНД стала Республіка Казахстан. У 2008 р. там здали в експлуатацію завод з виробництва біоетанолу виробничою потужністю 57 тис. т. на рік. На зазначеному підприємстві передбачено глибоку переробку пшениці в борошно і біоетанол з проміжною стадією вилучення сухої клейковини, а також виробництво кормових дріжджів і діоксиду вуглецю.

У розвитку нового напрямку використання вуглеводовмісної сировини особливу увагу варто приділити більш раціональному застосуванню бурякоцукрової меляси. Якщо із зерна пшениці, кукурудзи можна виробляти

високоякісний питний спирт, то з бурякоцукрової меляси отримати такий спирт важко. А біоетанол, отриманий із меляси, відповідає всім технічним вимогам як моторне паливо. З 1 т. зерна пшениці отримують 355...360 дм<sup>3</sup> біоетанолу, а з 1 т. умовної меляси (СВ = 85%) можна виробити 310...315 дм<sup>3</sup> біоетанолу.

На типовому цукровому заводі виробничою потужністю 6 тис. т. переробки буряка за добу отримують = 300 т. умовної меляси (містить = 150 т. цукру). З цієї меляси можна отримати  $300 \cdot 310 = 9300$  дал етилового спирту. Таку кількість продукту виробляють за добу на одному спиртовому заводі середньої виробничої потужності.

Відповідно, доцільно не вивозити мелясу з цукрового заводу, а організувати своє виробництво біоетанолу. Для цього треба придбати комплект типового технологічного обладнання та установку з молекулярними ситами для зневоднення спирту. Все інше (ТЕЦ, водопостачання, майстерні, транспорт, управлінський апарат, кваліфіковані працівники) на цукровому заводі є. Переробка меляси в біоетанол буде проводитися в міжсезонний період. При цьому організувати зберігання меляси з мінімальними втратами цукру нескладно.

При такій організації виробництва економічно ефективною може бути робота цукрового заводу з двох кристалізаційною схемою, коли перший і другий відтоки утфелю II виводять в резервуар на короткочасне зберігання, а потім переробляють в етиловий спирт за спрощеною схемою з наступним зневодненням до біоетанолу. Такий варіант роботи заводу дозволяє скоротити технологічну схему цукрового заводу, виключивши багатогодинну (36...40 год.) кристалізацію цукру охолодженням, звільнити великі виробничі площі і працювати без меляси.

З розвитком цукробурякової промисловості буде збільшуватися і кількість меляси, найціннішої сировини для виробництва біоетанолу. Собівартість такої продукції на цукровому заводі може бути значно нижче, ніж на штатних спиртових заводах, куди мелясу додатково необхідно доставити і організувати її зберігання.

#### **7.4. Тверде біопаливо**

Тверде біопаливо – тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, у тому числі дрова, торф, тирса, тріска, солома, інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, вироблені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина.

Тверді енергоносії біологічного походження (головним чином гній, відходи деревина, торф) брикетують, сушать і спалюють в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику для побутових і виробничих потреб. Відходи деревини з мінімальним ступенем підготовки до спалювання (тирса, кора, лушпиння, солома тощо)

пресують в паливні брикети або в пелети, які мають форму циліндричних або сферичних гранул діаметром 8...23 мм і довжину 10...30 мм.

В Україні одним з найперспективніших напрямів використання потенціалу біомаси є виробництво брикетів і гранул. За даними Асоціації учасників ринку альтернативних видів палива та енергії, протягом 2011 року в країні виробили 810 тис. тонн твердого біопалива. Зараз більшу частину цього палива експортують, оскільки в Україні немає значного попиту на цей енергоресурс. Однак можна відзначити і незначну тенденцію зростання потреб у твердому біопаливі всередині країни. Кілька років тому виробники твердого палива експортували близько 90...95% своєї продукції. У 2012 році ця цифра становила 70%.

*Гранулювання* – це сукупність фізичних і фізико-хімічних процесів, що забезпечують формування часток певного спектру розмірів, форми, необхідної структури і фізичних властивостей.

*Гранула* – це циліндр з розмолотої, спресованої деревини або іншої біосировини. Вона має від 10 до 30 міліметрів в довжину і від 6 до 10 міліметрів в діаметрі.

Процеси гранулювання являються масовими технологічними процесами, досить поширені в наш час, і знаходять усе більш широке використання в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, металургійній галузях промисловості. Це пояснюється перевагами гранул у порівнянні з порошкоподібною, рідкою і пастоподібною формами речовин.

Гранулювання проводять з метою поліпшення якості як проміжних, так і готових продуктів. Показники якості залежать від специфіки продукту і його призначення. У загальному випадку, гранулювання дозволяє істотно зменшити схильність продукту до злежування, а отже, спростити зберігання, транспортування і дозування; підвищити сипучість при одночасному усуненні запиленості, і тим самим поліпшити умови праці в різноманітних сферах виробництва. Поряд з цим, гранулювання відкриває можливість гомогенізувати суміш відносно фізико-хімічних властивостей; збільшити поверхню теплообміну та масообміну; регулювати структуру гранул і пов'язані з нею властивості. Все це сприяє інтенсифікації процесів, в яких використовуються гранульовані продукти, підвищенню продуктивності праці і культури виробництва.

Розглянемо більш детально використання паливних гранул, так як використання гранул у даній сфері є найбільш раціональним та розповсюдженим.

*Паливні гранули* – екологічно чисте паливо з вмістом золи не більше 3%. При спалюванні гранул в атмосферу викидається рівно стільки CO<sub>2</sub>, скільки було поглинуто рослиною під час росту. Проте, якщо в місці зростання сировини докільля містило токсини або радіоактивні речовини, то при спалюванні гранул ці речовини можуть бути розпорошені в атмосферу. Гранули менш схильні до самозаймання, оскільки не містять пилу і спор, які також можуть викликати алергічну реакцію у людей. Гранули мають

незначну вологість (8...12%) та значну щільність. Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність – при згоранні тонни гранул виділяється приблизно 5 тис. кВт·год. тепла, що у півтора рази більше, ніж у звичайних дров. Низька вологість – це не лише перевага гранул як палива, але і проблема їх виробництва. Сушка може виявитися однією з основних статей витрат при виробництві паливних гранул. Крім того, залежно від виробництва, підготовка, сортування і очищення сировини також можуть спричинити додаткові витрати. Процес сушки важливо ретельно спланувати, що дозволить зменшити ризики, пов'язані з якістю готової продукції, її собівартістю і пожежонебезпекою виробництва. Одна з найважливіших переваг гранул – висока і постійна насипна щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту, гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси навантаження, розвантаження і спалювання цього виду палива.

Сільськогосподарська біомаса, що використовується як паливо, має ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовуються в якості джерела енергії. Деякі з характеристик твердого біопалива, у першу чергу зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні), за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. В той же час, його основні паливно-технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі.

Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, яку використовують в якості сировини, є її теплотворна здатність, що залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо. Нижче наведено середню теплотворну здатність сільськогосподарської енергетичної сировини (що раніше відносили до відходів агропромислового виробництва) при абсолютній її вологості на рівні 20%.

#### **Теплотворна здатність енергетичної сировини**

<b>Назва енергетичної сировини</b>	<b>Теплотворна здатність, МДж/кг</b>
Солома зернових культур	10,5
Стебла кукурудзи	12,5
Гілки плодкових дерев	10,5
Лузга гречки	12,5
Лузга соняшнику	14,2

До основних видів біомаси, що використовується в якості твердого біопалива, відносять деревину разом із сировиною з енергетичних рослин, таких як верба, шавнат та румекс, а також солому та зрубки з різного роду насаджень. Спалюванню деревини та соломи в печах передують збирання, а також за потреби висушування та зберігання зібраної сировини. Важливою характеристикою даної біомаси є її щільність. Звичайно, сухі біологічні матеріали мають щільність у 3...4 рази нижчу, ніж вугілля. Доставка і



переробка таких матеріалів є трудомісткою і високовартісною, особливо якщо утилізація ведеться на значній відстані від джерел виробництва біомаси, тому їх необхідно переробляти в гранульоване біопаливо на відстані не більшій за 50 км від місця вирощування.

Орієнтовний розподіл енергетичного потенціалу відходів сільськогосподарських культур, які можуть бути використані на енергетичні потреби, за статистикою 2011 року, представлений на рис. 7.17.

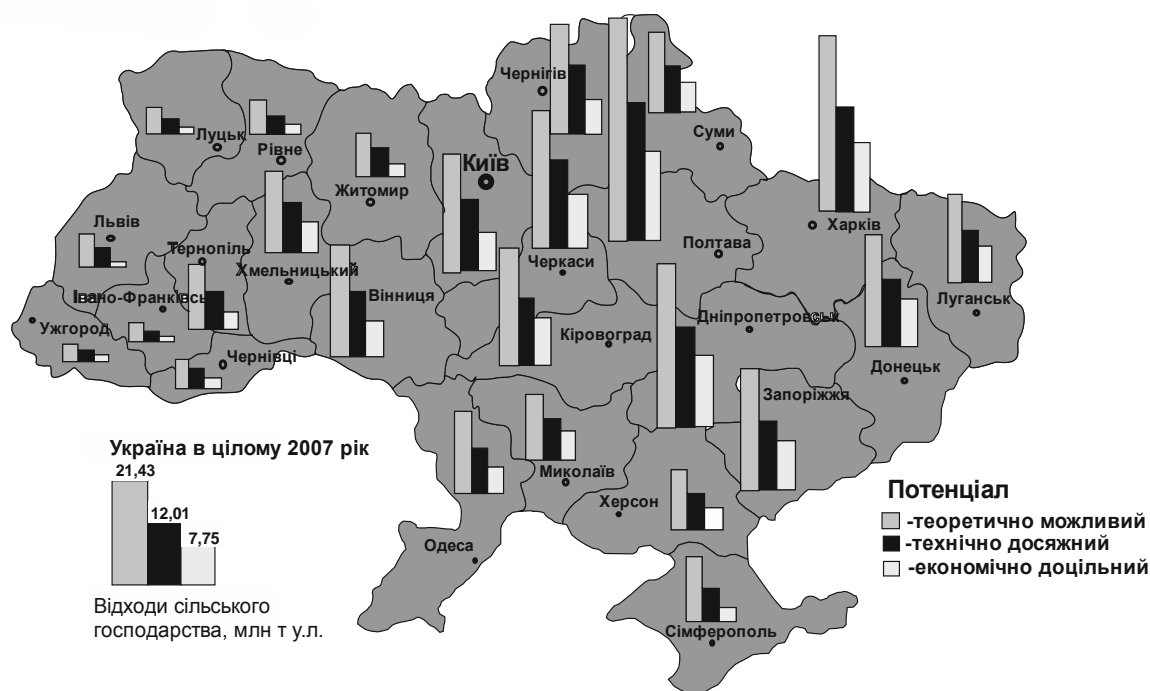


Рис. 7.16 – Розподіл енергетичного потенціалу (у млн. т. у.п.) відходів сільськогосподарських культур

Для виробництва гранул витрачається біля 3% енергії, що містить отримана гранула. Тоді як, під час виробництва нафти ці енерговитрати складають 10%, а при виробництві електроенергії 60...90%. Теплотворна здатність гранул складає 4,5...5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вона наближається до теплотворної здатності вугілля. Горіння гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує 0,5...1,0 % від загального об'єму використаного палива.

Для багатьох регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж вугілля або нафтопродуктів, бо вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться у 2...4 рази дешевше й не потребує значних транспортних витрат на його доставку. Використовують тверде біопаливо у вигляді солом'яний брикетів, гранул, зрубок та відходів сільськогосподарського виробництва. Наприклад, на 14 підприємствах олійної галузі України парові котли переведені на спалювання лушпиння, за

рахунок чого у 2008 році заощаджено 152 млн. м<sup>3</sup> газу. В минулому році олійно-жирова галузь використала для спалювання в промислових котлах лушпиння соняшнику в кількості до 500 тис. тонн. Крім того, близько 120 тис. тонн лушпиння щорічно гранулюється і продається на експорт та населенню. Властивості різних органічних палив наведено в табл. 7.18.

**Таблиця 7.18 – Порівняльна характеристика властивостей різних видів палива**

Вид палива	Вологість матеріалу, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %
Природний газ	–	35...38	0	0
Кам'яне вугілля	–	15...25	1...3	10...35
Паливо моторне	–	42,5	0,2	1,0
Мазут	–	42	1,2	1,5
Тріски дерев, тирса	40...45	10,5...12,0	0	2,0
Брикети, гранули з деревини	7...8	16,8...21,0	0,1	1,0
Брикети, гранули з соломи	8...10	16,5...18,8	0,2	3,0

Подрібнене тверде біопаливо для котлів, яке складається з відходів деревини (залишки кори, тирса, зрубки, шматки деревини, тощо), повинне мати теплотворну здатність сухої маси вищу ніж 5400 кВт·год/т; вологість меншу за 40%; середній розмір частинок – на рівні 50×50×20 мм, при цьому кількість частинок з розмірами до 150×60×20 мм не більше ніж 10%; вміст золи до 2% його сухої маси. До того ж, не дозволяється додавання у біопаливо речовин, що здатні негативно вплинути на його зберігання, перевезення і використання в опалювальному обладнанні.

Вибір технології виробництва паливних брикетів залежить від ряду факторів, а саме: а) планованого обсягу брикетів, б) наявності деревних відходів, в) виду та розміру деревних відходів, г) вологості деревних відходів.

Технологічний процес брикетування деревних відходів (у загальному випадку) складається з таких етапів: збір відходів; їх подрібнення, накопичення, сортування, сушіння і пресування; складування брикетів з розфасовкою, зберігання, відвантаження.

Лінії брикетування можуть бути з послідовним розміщенням устаткування, паралельним або змішаним.

У лініях послідовного агрегування продуктивність машин і механізмів повинна бути приблизно однаковою.

У лініях паралельного агрегування співвідношення продуктивності обладнання може бути довільним.

Найпростішими є лінії послідовного агрегування з розташуванням між агрегатами буферних пристроїв, які здійснюють гнучкий зв'язок між суміжними агрегатами.

Буферні пристрої в лініях брикетування – це різні бункери або циклони з механізмами порціонної видачі брикетувальної деревної маси.

Основні вимоги до вихідної сировини: вологість не більше 12%, вміст гнилі не більше 5%, величина частинок (95% – тирса і 5% – дрібні частинки розміром не більше 5 мм.).

При штемпельному пресуванні допускається вологість до 15% і розмір частинок до 8 мм. При більш високій вологості (>20%) отриманий брикет «розірве» внутрішнім тиском води, що утворився при стисненні подрібненої деревної маси.

Температура підігріву пресуючого матеріалу повинна бути в межах 100...220°C, тиск пресування – до 2000 кг / см<sup>2</sup> для шнекових пресів і до 100 МПа в штемпельних пресах.

Витрата деревної сировини на 1 т. брикету складає 2,6...2,8 м<sup>3</sup> (в шнекових пресах) і 1,5...2,2 м<sup>3</sup> при штемпельному пресуванні.

Схема технологічного процесу виготовлення брикетів з вологих деревних відходів показана на рис. 7.18.

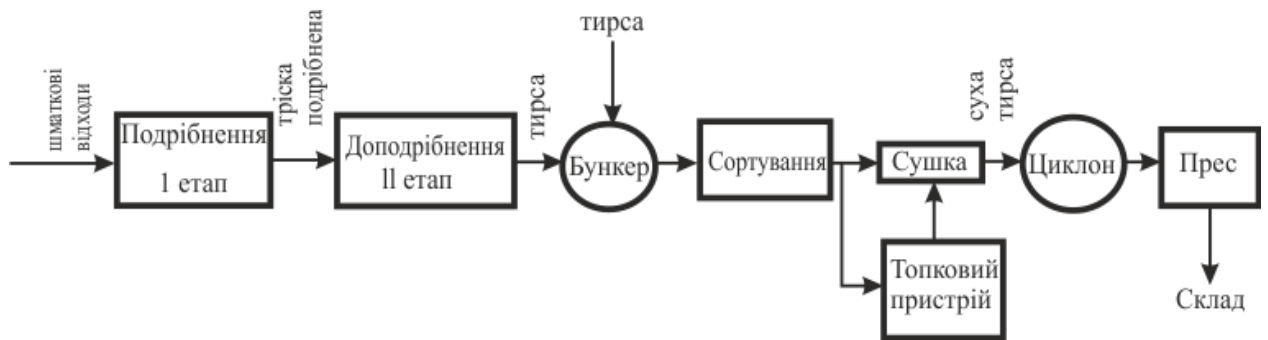


Рис. 7.18 – Технологічна схема виробництва брикетів з вологих відходів деревини

Деревні шматкові відходи надходять на подрібнення в подрібнюючу машину, отримана подрібнена тирса направляєється на до подрібнення в тирсу. Цю тирсу, а також тирсу від основного виробництва, направляють в бункер. З бункера тирса подається в теплогенератор сушильного барабана і в топку топкового пристрою.

У теплогенераторі тирсу змішуються з топковим газами і направляються в сушильний барабан. До сушильного барабану приєднаний топковий пристрій, укомплектований бункером-дозатором, в яких сполучною ланкою є теплогенератор.

З сушильного барабана аеросуміш (тирса плюс топкові газы) надходить в циклон. Подача тирси в циклон здійснюється за допомогою пневмоефекта, який створює вентилятор, встановлений на циклоні. Цим же вентилятором засмоктуються топкові газы з топки.

В циклоні відбувається поділ сухої тирси від відпрацьованих газів. Тирса осідає на дно і через шлюзовий затвор (живильник) видається на

конвеєр, який подає її в пресуючу установку (за наявності в ній бункера) або в бункер сухої стружки. З бункера суха тирса направляється в прес.

Так, наприклад, при застосуванні сушильного агрегата типу АВМ-0,65 в лінії можуть бути розміщені два шнекових преса, кожен продуктивністю 300 кг/год. Брикети з пресів транспортуються стрічковим конвеєром на склад, де відбувається їх охолодження, а потім розфасовка або укладання на піддони.

Технологічна схема за наявності сухих відходів показана на рис. 7.19.

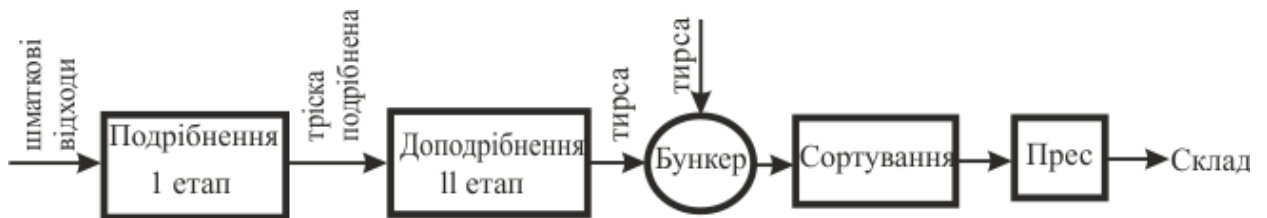


Рис. 7.19 – Технологічна схема виробництва брикетів із сухих відходів деревини

Сухі відходи подрібнюються в тріску, потім до подрібнюються в тирсу, яка з цеху надходить в бункер сухої маси. З бункера тирса направляється в пресуючу установку. Кількість пресів залежить від обсягу відходів і від продуктивності самого преса. Якщо на підприємстві переважає тирса і є невелика кількість кускових відходів, технологічна схема може мати вигляд, показаний на рис. 7.20.

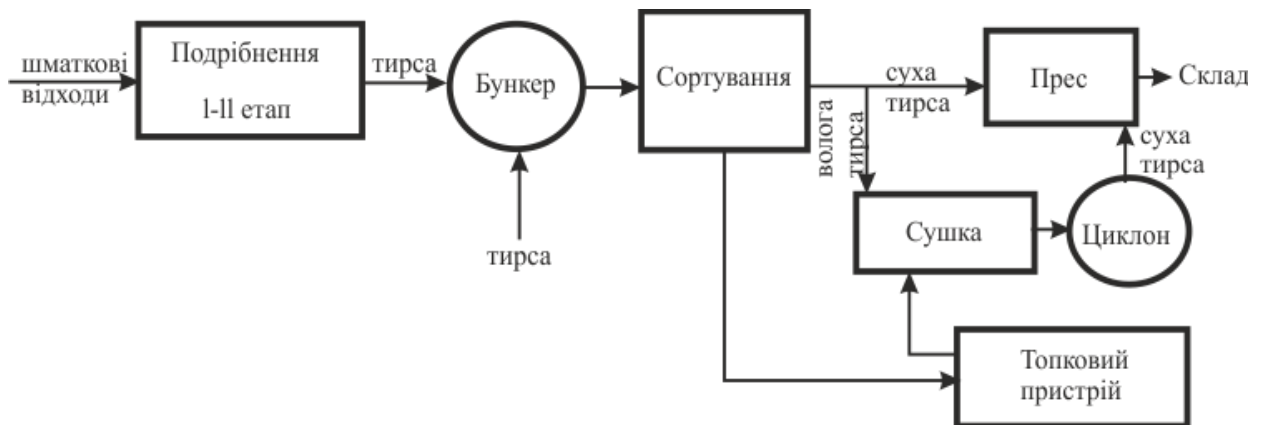


Рис. 7.20 – Технологічна схема виробництва брикетів із тирси та кускових відходів

Кускові відходи подрібнюються безпосередньо в тирсу і направляються в бункер. В цей же бункер надходить і тирса від основного виробництва. Якщо ця деревна маса має вологість менше 12%, то вона направляється в пресуючу установку. При вологості 12% і більше вся маса надходить в сушильний барабан, а потім в циклон і в прес.

При наявності на підприємстві сухої тирси схема спрощується і включає в себе лише циклон для накопичення і порціонної видачі сухої тирси в пресуючу установку (рис. 7.21).



Рис. 7.21 – Технологічна схема виробництва брикетів із сухої тирси

Якщо пресуюча установка шнекового типу має сортувальний барабан, то в технологічну схему сортувальна машина не входить. В іншому випадку технологічною лінією передбачено встановлення сортувальної машини.

Нижче наведемо основні технічні дані для найбільш поширеної технології брикетування – сушильний агрегат АВМ-0,65, шнекова пресуюча установка продуктивністю 300 кг / год., сировина волога (кускові відходи і тирса): річна продуктивність, при одному пресі – 1000 – 1200 т.; встановлена потужність устаткування – до 70 кВт; число обслуговуючого персоналу - 4 чол.; витрата сировини: на брикети (1т) – 2,6...3,0 пл. м<sup>3</sup>, на вироблення топкових газів (1 т) – 3,0...4,5 нас. м<sup>3</sup>; потужність топкового пристрою по тепловій енергії – 400...500 кВт; площа цеху – 170 – 200 м<sup>2</sup>.

При масовому використанні брикетів в котельних установках із автоматичним завантаженням котлів, на пресі можна отримувати брикети довжиною 3...5 см, які транспортуються в контейнерах або мішках. Для цього пристрій поділу перелаштовується на необхідний крок.

*Технологічні схеми виробництва твердого біопалива.*

На рис. 7.22 і 7.23 представлені технологічні схеми виробництва біопалив.

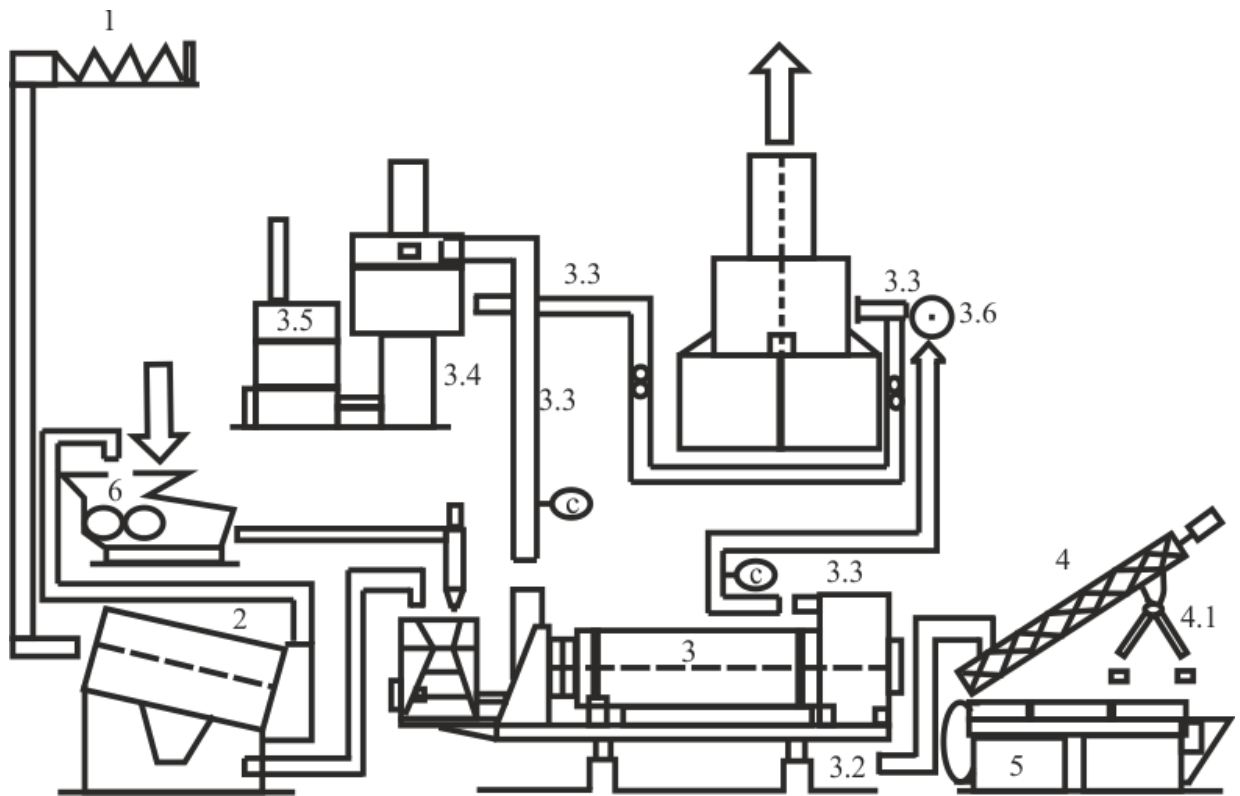


Рис. 7.22 – Технологічна схема виробництва твердого біопалива

1. Шнек
2. Сито
3. Сушильна камера
- 3.1 Бункер для сировини
- 3.2 Відвід для сировини
- 3.3 Повітряні трубопроводи
- 3.4 Бойлер на сировині
- 3.5 Паливний бункер
- 3.6 Вентилятор
- 3.7 Фільтр
4. Шнекова подача в брикетер (гранулятор)
- 4.1 Розподільник сировини
5. Брикетуючий прес (гранулятор)
6. Дробарка відходів.

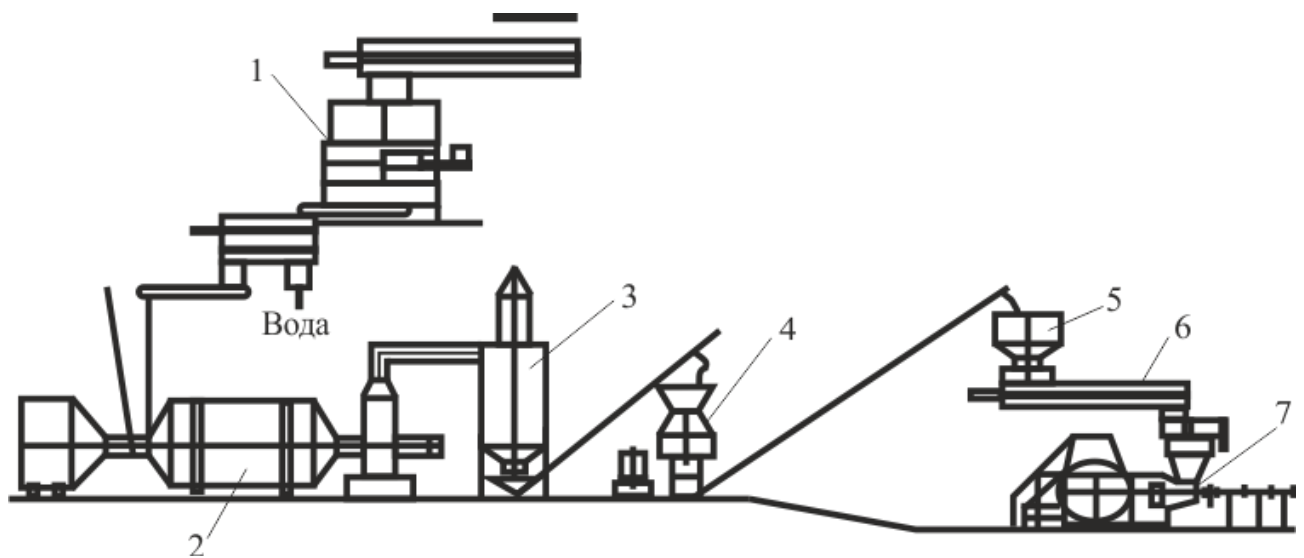


Рис. 7.23 – Технологічна схема виробництва твердого біопалива

- 1 – крупно-фракційна дробарка;
- 2 – сушильна камера;
- 3 – бункер;
- 4 – дрібно-фракційна дробарка;
- 5 – бункер;
- 6 – шнек;
- 7 – брикетуючий прес (гранулятор).

### Запитання і завдання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняттю «біогаз».
2. Назвіть основні етапи освоєння виробництва і використання біогазу.
3. Охарактеризуйте основні етапи розвитку біогазових технологій в країнах ЄС та світу.
4. Як розвиваються біогазові технології в Україні? Досягнення і перспективи.
5. Назвіть основні види сировини для виробництва біогазу.
6. Метанове зброджування – основа для виробництва біогазу. Чотири стадії анаеробного метанового зброджування сировини.
7. Роль ферментів у виробництві біогазу з відходів переробної і харчової промисловості та агропромислового комплексу.
8. Виробництво біогазу з твердих відходів.
9. Характеристика полігонів твердих побутових відходів як об'єктів для організації системи збирання і утилізації біогазу.
10. Відходи тваринництва і птахівництва – сировина для виробництва біогазу.
11. Охарактеризуйте нинішній стан виробництва дизельного біопалива в Україні.

12. Охарактеризуйте сировинні ресурси для виробництва дизельного біопалива.
13. Способи виробництва і сфери застосування біоетанолу.
14. Реакція алкоголізу жирів – основа у виробництві рідкого біопалива.
15. Каталізатори реакції переестерифікації тригліцеридів у ефіри жирних кислот (дизельне біопаливо).
16. Охарактеризуйте три стадії метанолізу тригліцеридів рослинних і тваринних жирів для отримання дизельного біопалива.
17. Які основні якісні показники дизельного біопалива обмежені стандартом EN 14214 і національним стандартом ДСТУ 6081:2009.
18. Охарактеризуйте технологічні схеми виробництва дизельного біопалива з рослинних і тваринних жирів.
19. В чому закладається технологія виробництва дизельного біопалива з застосуванням мембранних реакторів?
20. Навіщо застосовують кавітаційну обробку реагентів у виробництвах рідких біопалив з жирової сировини?
21. Охарактеризуйте основне вітчизняне обладнання для виробництва рідких біопалив.
22. Біоетанол. Сировина для виробництва і перспективи використання як біопалив.
23. Охарактеризуйте ефективність виробництва біоетанолу з різних сільськогосподарських культур.
24. Виконайте технологічну схему виробництва біоетанолу з різновидів сировини.
25. Схема виробництва біоетанолу з безперервним зброджуванням субстрату.
26. Роль ферментації у виробництві етанолу.
27. Подайте схему виробництва біоетанолу з бурякової меляси.
28. Тверде біопаливо. Його роль в енергозабезпеченні галузей народного господарства.
29. Сировина для виробництва твердого біопалива.
30. Гранулювання твердого біопалива для покращення якісних показників.
31. Охарактеризуйте теплотворну здатність енергетичної сировини для виробництва твердого біопалива.
32. Місце твердого біопалива серед інших видів паливно-енергетичних ресурсів. Переваги і недоліки.
33. Використання відходів деревини для виробництва паливних брикетів.
34. Дайте порівняльний аналіз технологічних схем для виробництва твердого біопалива.
35. Основні технічні дані вітчизняних брикету вальних установок для виробництва твердого біопалива з відходів підприємств АПК.



## РОЗДІЛ 8

### ТЕПЛОВІ НАСОСИ – АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

#### 8.1. Стан, потенціал і перспективи розвитку тепло насосної техніки

Як уже зазначалося, важливе місце в паливно-енергетичному балансі (ПЕБ) країни, зокрема міст і інших населених пунктів, посідає низькотемпературне тепло. Головним чином його витрачають на комунально-побутові потреби промислових підприємств, житлового сектору та комунально-побутової сфери. На опалення і гаряче водопостачання витрачається близько 30% палива, при цьому понад 45% тепло споживання покривають за допомогою ТЕЦ, великих районних і виробничих котельень, експлуатація яких пов'язана з істотним негативним впливом на екологію.

За цих умов, а також у зв'язку зі зростанням вартості палива і його дефіцитом, усе важливішим стає залучення вторинних енергоресурсів до ПЕБ. У промисловості досягнуто певних успіхів в утилізації високотемпературних ВЕР – рідин з температурою понад 150°C і газів з температурою більше 150 – 200°C. Натомість практично не реалізується утилізація низькопотенційної теплоти. Водночас, у загальному об'ємі ВЕР низькотемпературні джерела за теплою становлять близько 50%. “Теплові річки” охолоджувальної води конденсаторів турбін, охолоджувальні середовища генераторів, скидні теплові стоки підприємств, станцій аерації, теплові відходи виробництва агропромислового комплексу та ін., що містять тисячі МВт енергії, викидаються в довкілля, погіршуючи і так несприятливу екологічну обстановку в містах і промислових центрах.

Основним чинником, який стримує утилізацію скидної теплоти, є порівняно низький її температурний потенціал. Із цієї ж причини не використовують необмежені джерела теплоти, розсіяні в землі, ґрунтових водах і водах природних водоймищ, в атмосферному повітрі.

У світлі всього сказаного особливу увагу привертають теплові насоси – установки, які завдяки витраті невеликої кількості електричної енергії дають змогу підвищити потенціал тепла зазначених низькотемпературних джерел до необхідного рівня. На сьогодні теплові насоси є найперспективнішими теплоенергетичними установками, що ефективно використовують низькотемпературну теплоту.

Теплові насоси (підвищувальні термотрансформатори) – це пристрої (машини), які сприймають теплоту довкілля для подальшої передачі її тілу з вищою температурою. Таким чином, тепловий насос – це пристрій, який дає змогу передати теплоту від холоднішого тіла до більш нагрітого, використавши додаткову енергію. Застосування теплових насосів видається одним з важливих шляхів утилізації теплоти вторинних енергетичних ресурсів.

Як відомо, теплота низького потенціалу є продуктом технічної

діяльності людини, причому чим нижче її температурний рівень, тим більше цієї теплоти безповоротно втрачається, розсіваючись у довкілля. За приклад носіїв такої теплоти може слугувати нагріте повітря, що йде в атмосферу із систем вентиляції та кондиціонування, або теплі побутові і промислові стічні води, що мають температуру приблизно 20...40°C. Досить часто єдиним економічно виправданим способом утилізації теплоти таких вторинних енергетичних ресурсів є застосування теплових насосів, котрі можуть використовувати як теплоту, вироблену в різних технічних пристроях, так і теплоту природних джерел – повітря, води природних водоймищ, ґрунту.

Головна ділянка застосування теплових насосів у цей час – нагрівання теплоносія для систем опалення, вентиляції й гарячого водопостачання будівель. Проте їх можна використовувати і для технологічних цілей.

Теплові насоси розрізняють щонайперше за способом перетворення теплоти. Типи теплових насосів, які збігаються з типами холодильних установок (оскільки реалізують один і той самий термодинамічний цикл), підрозділяють на парокомпресійні, газокompресійні, сорбційні, пароежекторні й термоелектричні.

Інший важливий вид класифікації теплових насосів ґрунтується на типі джерел енергії, що його використовують для перетворення теплоти. Це може бути електродвигун, газова турбіна, двигуни внутрішнього згорання, механічна енергія струменя пари абощо. Часто теплові насоси розділяють за видом робочого агента (фреонові, аміачні, повітряні та ін.) і типом теплоносіїв, які віддають і сприймають теплоту (повітря – повітря, вода – повітря, вода – вода тощо).

Найбільшого поширення нині набули парокомпресійні теплові насоси, що як робочий агент використовують один із фреонів або їх суміш. Докладніше на цих питаннях зупинимося в наступних розділах.

Теплонасосні установки (ТНУ) широко застосовуються у США, Японії, Канаді, Франції, Швеції та в інших розвинених країнах. Їх використовують для опалення, гарячого водопостачання, кондиціонування, в процесах сушіння дерева, паперу, зерна, для обігріву теплиць, виробництва харчових продуктів, для опріснення, дистиляції води та в багатьох інших сферах.

Зарубіжні ТНУ переважно спрямовано на теплопостачання і кондиціонування індивідуальних споживачів. Так, продаж теплонасосних кондиціонерів у США останніми роками підтримується на рівні близько 1 млн штук щороку. Активна енергоощадна політика проводиться в Японії, унаслідок чого продаж

ТНУ сягнув понад 1,5 млн. штук. Загальна кількість ТНУ у світі до 2001 року перевищила 25 млн.

Тільки за 1995 р. у США було побудовано близько 1 млн. односімейних житлових будинків, з яких 246 тис. обладнані опалювальними ТНУ. Загальну кількість установлених у США теплових насосів оцінюють сумою більше 7,5 млн., що становить близько 11% від загальної кількості опалювальних установок.

Європа застосовує теплові насоси також у достатньо великій кількості. Так, в Австрії щорічно продається більше 1 000 комплектів опалювальних теплових насосів і 6000 комплектів теплонасосних установок гарячого водопостачання. У Нідерландах, де пристрій теплонасосних систем забезпечують державні субсидії, встановлюється понад 100 тис. теплових насосів на рік. Нинішній обсяг продажів теплових насосів у Швеції становить близько 35 тис. комплектів на рік, а в Швейцарії щорічно встановлюють до 3 тис. одиниць теплонасосного устаткування.

Можливість використовувати в теплових насосах енергію довкілля відкриває нові потреби енергозбереження у царині житлово-цивільного будівництва. Водночас, перетворення низькопотенційної енергії довкілля пов'язане з витратами електричної енергії й досить високою вартістю устаткування.

ТНУ застосовують і як великі установки централізованого тепlopостачання. Особливо вирізняється Швеція, що експлуатує найбільші в світі теплонасосні станції (ТНС) потужністю від 40 до 120 тис. кВт. Сумарна потужність ТНС у Стокгольмі досягає 500 тис. кВт.

За рубежом ТНУ випускаються серійно і мають термін окупності 2–4 роки, тут ведуться інтенсивні дослідження щодо їхньої розробки і вдосконалення. Так, у США річні витрати на ці роботи перевищують 100 млн. доларів. ТНУ є добре відпрацьованими промисловими виробами, масштаби і темпи впровадження яких визначаються не тільки технічними, а й багато в чому екологічними чинниками.

Поряд з великими ТНС і ТНУ, спостерігають зростання кількості експлуатованих у різних країнах опалювальних, опалювально-охолоджувальних (цілорічних кондиціонерів) і водонагрівальних ТНУ незначної потужності.

Тим часом, у всіх країнах СНД завважають серйозне відставання у практичній реалізації передових розробок у сфері теплонасосної техніки. Головна причина – несприятливе для ТНУ співвідношення цін, що склалося тоді на електроенергію й паливо. Економічна ефективність ТНУ, які споживають електроенергію і заощаджують паливо, є тим вищою, чим дешевша електроенергія і дорожче паливо. Якщо раніше в СРСР зазначене співвідношення було істотно більшим, аніж в інших індустриально розвинених країнах, то після утворення України як самостійної держави воно змінилося у зворотний бік, тобто економічні передумови розвитку ТНС і ТНУ стали сприятливішими.

## **8.2. Термодинамічні основи роботи і характеристики теплових насосів**

Здатність теплового насоса брати енергію з довкілля вигідно відрізняє його від інших теплогенераторів, які всі свої теплові втрати разом із продуктами згорання скидають в атмосферу. Для того, щоб тепловий насос

міг забирати енергію від довкілля за відносно низької температури, до нього конче треба підвести механічну енергію, яка в більшості випадків перетворюється з електричної енергії. Звичайно при теплонасосному опаленні потрібно майже в 3 рази менше електричної енергії, ніж під час прямого перетворення електричної енергії на теплову, наприклад, в електрорадіаторах. Таке порівняння, проте, не зовсім коректне, оскільки електричну енергію виробляють на теплових електростанціях з досить низьким ККД, і правильніше було б оцінювати ефективність теплового насоса за величиною первинної енергії палива, що її витратили на виробництво одиниці споживаної теплоти. Схема потоків енергії при теплонасосному опаленні наведена на рис. 8.1.

Як уже наголошувалося, тепловий насос (ТН) вірогідно є одним з термотрансформаторів – пристроїв, які забезпечують подачу тепла від одних тіл до інших при тому, що ці тіла мають різні температури. Термотрансформатори можуть бути підвищувальними у разі, коли призначені для передачі теплоти до тіл з низькою температурою, і знижувальними, якщо за їх допомогою передається теплота тілам з високою температурою. Термодинамічні цикли термотрансформаторів є поєднанням прямого і зворотного циклів.

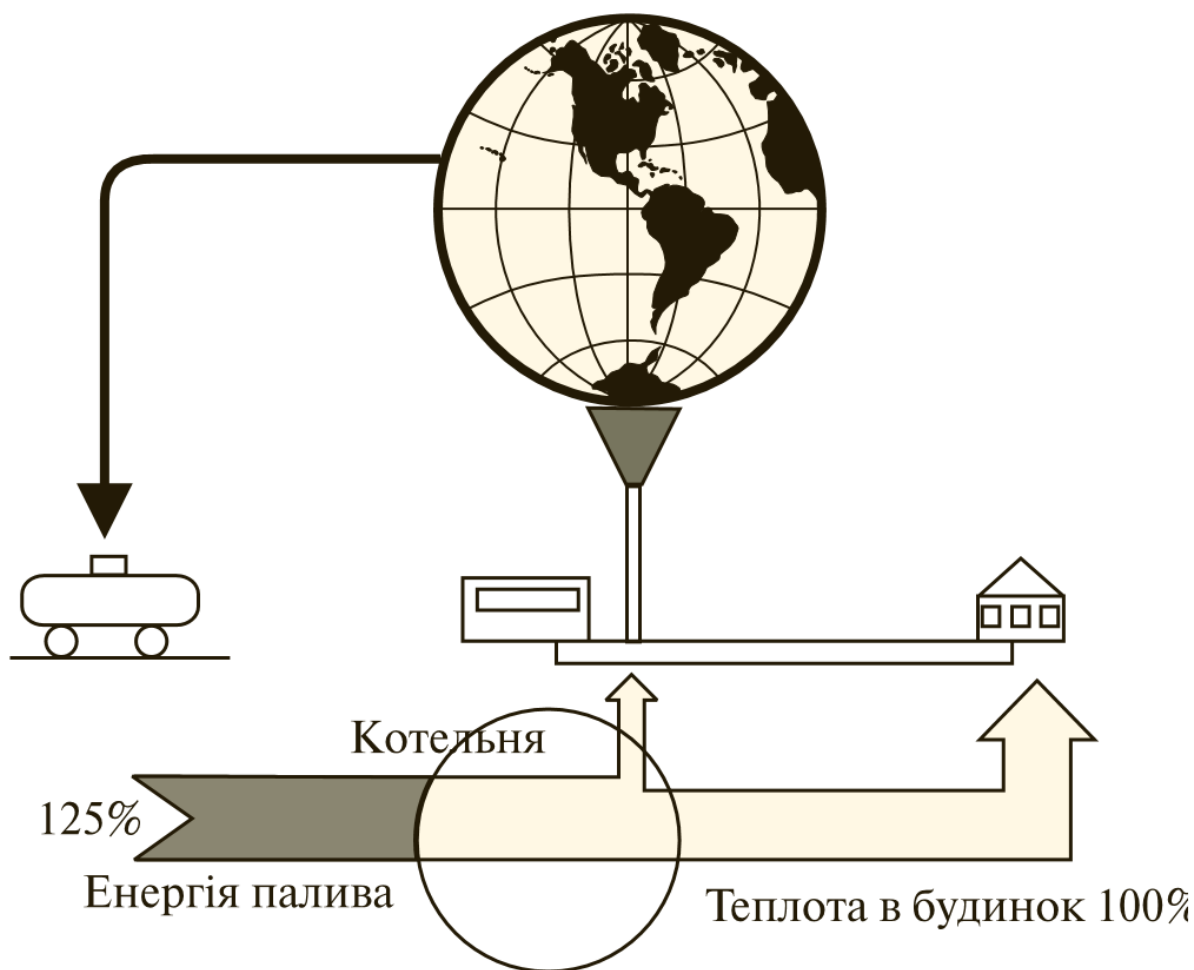


Рис. 8.1 – Схема потоків енергії за опалення від котельні

Таким чином тепловий насос є певним гатунком підвищувальних термотрансформаторів і здійснює передачу теплоти від зовнішнього середовища до тіла з вищою температурою (рис. 8.2).

Принцип дії та основні характеристики теплових насосів. Немає принципової відмінності в роботі й у конструкції холодильних машин і теплових насосів. Розрізняють лише призначення і температурний рівень одержуваної теплоти. Мета холодильної машини – одержати теплоту з температурою нижче за рівень температури довкілля, тобто виробництво охолодженого теплоносія (розсоли, антифризи, повітря, вода), що виходить із випарника. Мета теплового насоса – дістати теплоту (у випадку парокомпресійного теплового насоса як нагрітий теплоносій (вода, повітря), що виходить із конденсатора).

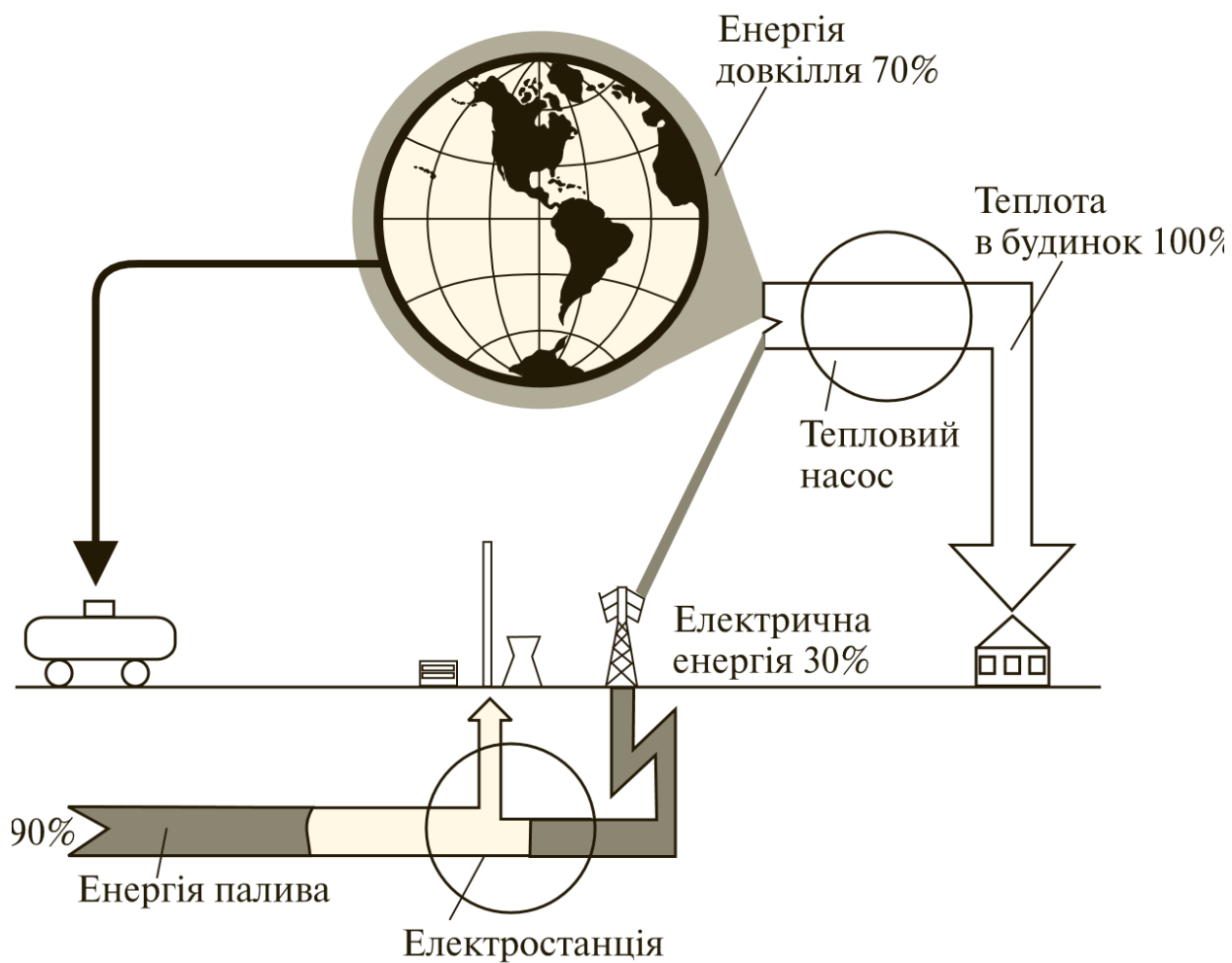


Рис. 8.2 – Схема потоків енергії за теплонасосного опалення

Проілюструймо принцип дії парокомпресійного теплового насоса, навівши на рис. 8.3. його схему і термодинамічний цикл у діаграмі T-s (“температура-ентропія”). Тепловий насос діє за рахунок механічної роботи, підведеної в компресорі, що йому надає рух електричний або тепловий двигун. У компресорі тиск робочої речовини, що перебуває в пароподібному

стані, зростає від  $P_1$  до  $P_2$  (процес 1–2). За умови постійного тиску в конденсаторі потім відбувається конденсація робочої речовини (процес 2–3). Одержане внаслідок конденсації тепло передається споживачу при температурі  $T_2$ , наприклад нагріваючи воду, направлену в систему опалення. У дроселі відбувається розширення робочої речовини до тиску  $P_1$  з його частковим випаровуванням (процес 3–4). Далі, робоча речовина цілком перетворюється на пару при температурі  $T_1$  у випарнику, де теплоту забирають від її джерела,

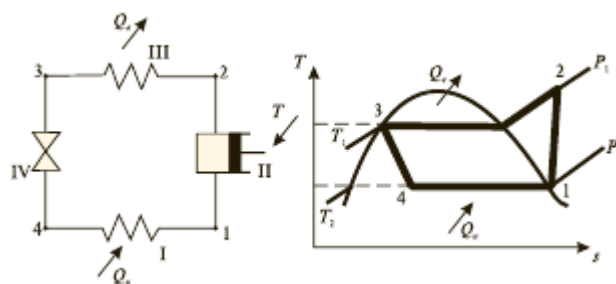


Рис. 8.3 – Схема парокompресійного теплового насоса і його цикл у T-s діаграмі: I – випарник; II – компресор; III – конденсатор; IV – дросель

Основними характеристиками теплового насоса є коефіцієнт перетворення (трансформації) тепла, термодинамічний ККД і питома вартість, тобто вартість, віднесена до теплопродуктивності теплового насоса.

Коефіцієнт перетворення тепла – це цілковите відношення одержуваної теплової потужності до потужності, що витрачається на привід компресора. Він вищий за одиницю, істотно залежить від температури холодного джерела теплоти  $T_1$  і температури одержуваного гарячого теплоносія  $T_2$ . У результаті роботи теплового насоса можна дістати приблизно в 2-8 разів більше теплоти, ніж у випадку безпосереднього підігрівання теплоносія в електрокалорифері:

$$\varepsilon_T = Q_B / N = T_2 / T_2 - T_1, \quad (8.1)$$

де  $Q_B$  – теплопродуктивність;

$N$  – потужність, що витрачається.

Для тих, хто не ознайомлений з роботою теплових насосів, ця обставина здається порушенням першого закону термодинаміки. Насправді це не так: ми лише трансформуємо теплоту нижчого потенціалу в теплоту вищого потенціалу, тобто іншого температурного рівня. Коефіцієнт перетворення тепла не є коефіцієнтом корисної дії теплонасосної установки. Відомо, що якість виду енергії залежить від його здатності перетворюватися на інший вид енергії. Якщо механічна робота в ідеальному процесі може бути цілком перетворена на інший вид енергії, то теплота навіть в ідеальному процесі лише частково обертається на механічну роботу. Міру перетворення теплоти в роботу характеризує працездатність або ексергія потоку теплоти, вона посутньо залежить від температурного рівня потоку теплоти, а також

від температури довкілля.

Термодинамічна досконалість теплового насоса визначається його ексергетичним ККД, що може бути обчислений таким чином:

$$\eta_e = Q_B \omega / N \quad (8.2)$$

Тут  $\omega$  – температурна функція або коефіцієнт працездатності теплоти, визначувана як термічний ККД циклу Карно між температурами  $T_1$  і  $T_2$  (температурою довкілля)

$$\omega = (T_2 - T_{oc}) / T_2 \quad (8.3)$$

Як бачимо, ексергетичний ККД теплонасосної установки завжди менше одиниці.

Приблизна залежність коефіцієнта трансформації теплоти від температури наведена на рис. 8.4. За малої різниці температур у випарнику й конденсаторі коефіцієнт трансформації може досягати великих значень. На практиці за сучасного рівня цін на устаткування та енергоносії рекомендують застосовувати теплові насоси з коефіцієнтом трансформації не нижче 2,5.

Питома вартість теплових насосів, що випускаються в Росії, за даними, для потужностей від 100 до 10000 кВт становить 200 – 250 дол. США за 1 кВт установленної теплової потужності (включаючи монтаж). Вартість теплових насосів, що їх випускають зарубіжні фірми, є трохи вищою. Слід чекати, що зі збільшенням числа вітчизняних виробників питома вартість теплових насосів знижуватиметься.

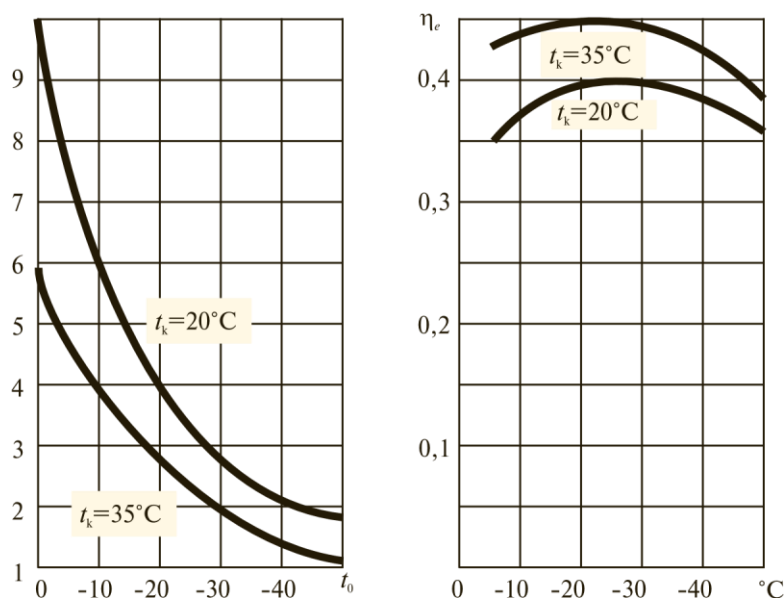


Рис. 8.4 – Залежність холодильного коефіцієнта (а) та ексергетичного ККД (б) від температур конденсації й випаровування

Характеристики теплового насоса неабияк залежать від уживаної робочої речовини, що нею найчастіше виступають різноманітні фреони (хладони) – галогенопохідні граничних вуглеводнів. Використовуються такі фреони, як R-22, R-134A, R-407, а також ознобезпечний фреон R-142B.

Застосування фреону R-22 Монреальська конвенція дозволила лише до 2005 року. Характеристики фреонів багато в чому визначають коефіцієнт перетворення тепла, а отже, економічність теплового насоса.

Теплові насоси широко використовують для теплохолодопостачання в технологічних процесах для опалення і гарячого водопостачання.

Однаковий принцип роботи холодильних машин і теплових насосів дає змогу в одному агрегаті виробляти холод і теплоту, забезпечуючи одночасно тепло- і холодопостачання споживача. Таке поєднання звичайно є економічно вигідним.

Джерелом теплоти для теплового насоса, використовуваного у процесі опалення, можуть бути повітря, вода і ґрунт. Абонентом теплоти є опалювальне приміщення. Якщо температура джерела теплоти змінюється (наприклад, добова зміна температури повітря), то ефективність теплового насоса також змінюється.

Таким чином, використовуючи тепловий насос, можна одержати корисного тепла більше, ніж міститься у витраченому на його виробництво паливі (на декілька десятків відсотків), а це може зумовити значний економічний ефект.

Відомо багато типів теплових насосів, з яких найбільш споживаним є компресорний паро рідинний. Він складається з чотирьох елементів: компресора, випарника і терморегулювального вентиля (рис. 8.5).

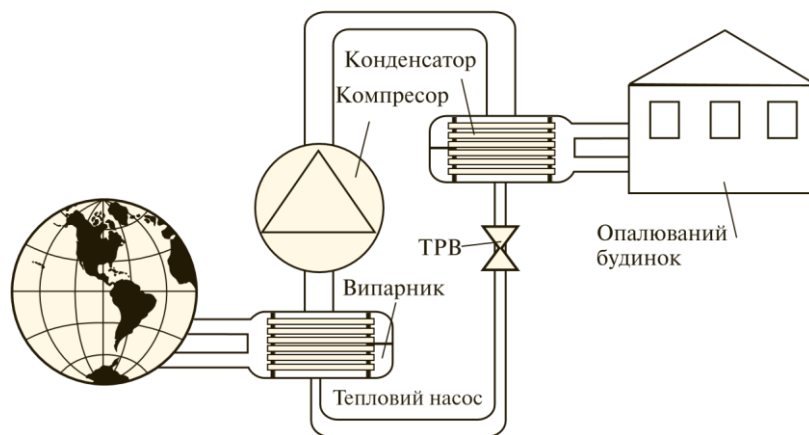


Рис. 8.5 – Схема перетворення природної енергії в тепловому насосі

Усі апарати теплового насоса заповнені легко кип'ячим холодильним агентом, для якого температура довкілля є такою високою, що у випарнику починається кипіння рідкого холодагента. Компресор відсмоктує утворену пару. У процесі стиснення в компресорі температура пари холодагента підвищується настільки, що в конденсаторі, омиваному теплоносієм системи опалення, пара зріджується, а теплота конденсації передається теплоносію, який при цьому нагрівається. На шляху до випарника рідкий холодагент проходить крізь терморегулювальний вентиль, де різко знижується тиск рідини, після чого й починається її кипіння у випарнику, в якому цикл



замикається.

Відношення виробленої теплової енергії до витраченої в компресорі роботи вірогідно і є коефіцієнтом перетворення теплового насоса Епр., що залежить від різниці температур джерел. Якщо різниця незначна, коефіцієнт перетворення може досягти високих значень. За великої різниці температур він знижується. Вважають, що опалювальний тепловий насос є ефективним у разі, коли коефіцієнт перетворення дорівнює 3 і більше. Розрахувати ефективність теплового насоса – то є достатньо складне завдання, з яким можна впоратися, зваживши на конкретні умови експлуатації.

### **8.3. Напрями використання і класифікація теплових насосів**

Великі тепло насосні установки (ТНУ) і тепло насосні станції (ТНС) сприяють розв'язанню проблем щодо економії палива й енергії, заміщенню органічного палива ядерною енергією, прискоренню електрифікації та підвищенню ефективності тепло- й холодопостачання промислових підприємств і комунально-побутової сфери. Крім того, їхнє застосування може зробити істотний внесок у стабілізацію екологічної обстановки. Розрахунки показують, що за умов упровадження ТНУ в системи тепlopостачання можна досягти економії в 20 – 70%. В екологічному аспекті позитивна сторона ТНУ полягає, по-перше, у відсутності процесу горіння і супутнього забруднення атмосфери; по-друге, в утилізації теплових відходів виробництв, що є важливим напрямом захисту біосфери від теплового забруднення.

Інші переваги ТНУ:

- виняткова універсальність стосовно продуктивності (від кількох кВт до десятка МВт), щодо виду використовуваної первинної енергії та низько потенційної теплоти;
- широка сфера застосування: опалення, гаряче водопостачання і кондиціонування, одночасне охолодження одних об'єктів і нагрівання інших, використання в технологічних процесах ректифікації, опріснення, сушіння;
- скорочення витрат на транспортування палива;
- зниження капіталовкладень у теплові мережі;
- зниження трудовитрат на експлуатацію тепло виробних об'єктів за рахунок практично цілковитої автоматизації ТНУ.

ТНУ сприяють одночасному розв'язанню трьох найважливіших проблем: енергозбереження, охорони довкілля, економії і поліпшення умов праці теплоенергетичних виробництв.

Відтак, теплові насоси – джерела тепла, що реалізують прогресивну технологію, забезпечують якісно новий рівень розвитку систем тепlopостачання і подальшу оптимізацію паливно-енергетичного комплексу взагалі.

Теплонасосна станція є джерелом централізованого тепlopостачання, що складається з ТНУ, пікової водогрійної котельні і теплових акумуляторів,

які дають змогу ТНУ працювати за примусовим графіком енергоспоживання в провальні або позапікові години графіка навантаження енергосистеми.

Як було показано раніше, економія палива під час експлуатації ТНУ, порівняно з безпосереднім його спалюванням у печах і котлах, у процесі вироблення теплоти невисоких температур досягається завдяки раціональнішому використанню енергії. Можливість вибору термодинамічного циклу (на відміну від традиційного способу одержання тепла в котлах) дає змогу управляти верхнім рівнем температур таким чином, що він лише на кілька градусів перевищує температуру нагріву теплоносія. Як наслідок, на здійснення роботи циклу витрачають лише невелику кількість енергії, визначеної кількістю роботи, яку може виконувати система під час свого зворотного врівноваження з довкіллям.

Такі достоїнства ТН роблять їх досить вигідними для використання в найрізноманітніших низькотемпературних системах енергопостачання, насамперед у системах тепло- і холодо постачання.

Особливо слід відзначити широкий спектр можливих сфер використання ТН, можливості розвитку ТН з теплоносієм “вода-вода”, “вода-повітря” для обігрівання будівель з опалювальними системами на рідкому нафтовому паливі; застосування теплових насосів спільно з використанням сонячної енергії для забезпечення житлових приміщень побутовою гарячою водою; ТН із приводом від дизель-електричного або теплового двигуна; використання ТН з електричним приводом тощо.

Залежно від типу теплових джерел (зовнішнє і вентиляційне повітря, земля, камінь, стічні води, промислове скидне тепло, підземні води, озерна і морська вода, накопичене сонячне тепло, теплота конденсації та ін.) теплові насоси можуть бути класифіковані таким чином:

Теплові насоси, що використовують тепло, нагромаджене в зовнішньому повітрі. Повітря є джерелом тепла, на яке не впливають жодні місцеві умови (за винятком холодного періоду року). Отже, ТН, що послуговуються теплом зовнішнього повітря, мають істотно більшу потенційну можливість для застосування в житловому секторі порівняно з іншими типами, хоча з повітря вдається видобути дещо меншу кількість тепла, ніж з більшості інших джерел.

Зменшення температури повітря з 10 до 0°C спричиняє до збільшення потреби в обігріві житлових приміщень майже на 100%, при цьому можливість одержати тепло за допомогою ТН падає приблизно на 40%. Оскільки повітря має невелику густину і низьку теплоємність, доводиться прокачувати його у великій кількості через теплопоглинальний колектор. Реалізація ТН за низької температури (до – 20°C) потребує значних витрат енергії для приводу компресора. Тому, як правило, при температурі нижче – 10°C ТН вимикають і вмикають резервну пікову опалювальну систему. Утворення льоду на випарнику за температури випаровування менше 0°C (при температурі повітря менше 5°C) також є вадю таких ТН, оскільки знижує їхню ефективність.

Незважаючи на це, простота установки ТН, що використовують тепло зовнішнього повітря, а також конкурентоспроможність визначили їхнє широке застосування для опалення індивідуальних будинків.

Теплові насоси, які використовують тепло, накопичене в озерній воді. Використання озерної води як джерела тепла дає змогу застосувати ефект природного сезонного нагромадження літнього тепла в озерах і водотоках. Оскільки температура озерної води відносно стабільна й поволі знижується до точки замерзання, можна створити ТН з хорошими економічними показниками і з оптимальним розміщенням елементів системи видобування води для опалення з шару, що зберігає оптимальну температуру протягом усього року.

Розробка і застосування ТН такого гатунку для забезпечення теплом усіх типів житлових приміщень мають свої специфічні особливості й потребують конкретного розгляду.

Теплові насоси, що використовують тепло стічних вод. Стічні води, як і зовнішнє повітря, є низькотемпературним джерелом тепла, особливо зручним для використання ТН. Стічні води з температурою влітку близько 20°C і взимку рідко менше 8°C, як правило, є в усіх міських забудовах. Як джерело тепла їх можна використовувати і необробленими, й очищеними. Після очищення стічні води звичайно мають вищу температуру і дають змогу скоротити відстань між ТН і місцем їхнього використання. Проте їхнє застосування часто спричинює засмічення трубопроводів і блокування теплообмінних поверхонь.

Такі ТН доцільно розміщувати поблизу очисних споруд або у великих будівлях, що мають вагому кількість порівняно чистих стічних вод.

Економічні показники перетворення тепла є схвальними, однак загальні можливості ТНУ цього типу оцінити поки що досить складно.

Теплові насоси, які використовують тепло вентиляційного повітря. ТН для рекуперації тепла з повітря, що викидається вентиляційними системами і має температуру близько 20°C, яка дещо змінюється протягом року, створює можливість мати вищий коефіцієнт перетворення тепла в зіставленні з іншими джерелами низькотемпературного тепла. Вони можуть бути встановлені в багатоквартирних, індивідуальних будинках та інших спорудах із механічною системою вентиляції.

Очевидно, що вентиляційне повітря є порівняно обмеженим джерелом тепла, а збільшення вентиляційних потоків неминуче викликає зростання потреби в опаленні.

Крім того, використання ТН названого типу, призначених для забезпечення гарячого водопостачання, показало, що ці системи неекономічні, оскільки їх використовують упродовж близько 50% часу. І нарешті, велика частина витрат у таких системах пов'язана з прокладенням трубопроводів у будівлях і будівельними роботами, а це удоцільнює вибір ТН, які рекуперують тепло, що викидається з повітря і використовують його для опалення.

Теплові насоси, що використовують тепло поверхневих шарів землі. Механізм нагромадження тепла в землі аналогічний механізму накопичення тепла в озерах. Шари землі є стабільними акумуляторами сонячного тепла, нагромадженого в літній період, і вочевидь є великим джерелом низькотемпературного тепла, яке може бути використане взимку.

Тепло поверхневих шарів може бути використано як джерело тепла для індивідуальних і багатоквартирних будинків, а також опалювальних котелень потужністю до 1 МВт. Придатність для теплопостачання залежить від типу ґрунту і вмісту в ньому води. Постійна і відносно висока температура землі дає змогу дібрати тепловий насос, здатний забезпечити всі енергетичні потреби добре ізольованого індивідуального будинку. Попри відносну дорожнечу, вони успішно застосовуються в секторі індивідуальних будинків. Принципово можливим і перспективним є їхнє застосування для великих будівель (наприклад, шкіл), що володіють достатньою площею землі, а надто ж якщо скоротити площу землі, потрібну для ТН.

Теплові насоси, які використовують тепло підземних вод і скельних порід. Напря́м використання такий самий, як і ТН, розглянутих вище. Температура підземних вод на глибині 15 – 20 м є звичайно постійною, хоча вона коливається залежно від кліматичних умов конкретних районів. Для видобування тепла з підземних вод використовують пересічні методи буріння свердловин діаметром 10 – 20 см, завглибшки 50 – 150 м. Як і під час використання озерної води, застосовують два істотно незбіжні принципи збору тепла. В одному випадку замкнута трубопровідна система опускається в свердловину. У такому колекторі циркулює теплоносій, що добуває тепло з підземної води і переносить його у випарник теплового насоса. Охолоджений розчин-теплоносій потім закачують назад через систему свердловин. Для невеликого теплового насоса потужністю близько 10 кВт (для індивідуального будинку) потрібно 1 – 2 м<sup>3</sup>/г підземної води (залежно від температури).

В іншому варіанті підземну воду закачують безпосередньо у випарник і після охолодження скидають у спеціальну свердловину, розташовану досить далеко від місця забору, щоб запобігти охолодженню джерела підземної води.

Теоретично такі системи мають більші потенційні можливості проти ТН, що використовують тепло поверхневих шарів землі. Якщо застосування останніх обмежене наявністю відповідних земельних ділянок, то використання тепла підземних вод визначається саме їхньою наявністю і ризиком порушити екологічний баланс підземної води, а також її недостатнім об'ємом.

Можливості використання ТН на підземних водах обмежено територіями, де температура підземної води на глибині 10 м менша 4,5°C. Використання інших джерел тепла. Не зупиняючись на застосуванні геотермальних вод, відзначимо можливість створення ТН, що використовують скидне тепло технологічних процесів. Цей напрям розвитку

ТНУ в деяких випадках може виявитися надзвичайно ефективним (термін окупності – 1–3 роки). Проте всі ці питання вимагають окремого опрацювання, починаючи з узгодження інтересів підприємств і місцевих органів водопостачання.

#### 8.4. Головні типи теплових насосів

Практичне застосування дістали теплові насоси двох типів:

- парокompресійні (ПТНУ), де робочим тілом є різні фреони і стиснення здійснюється механічним шляхом за допомогою компресора;
- абсорбційні (АТНУ), де робочим тілом є розчин, складений, як правило, з двох компонентів. Ці компоненти мають різні температури кипіння за однакового тиску. Один компонент є робочим агентом, а другий – абсорбентом (поглиначем). Схема АТНУ організована таким чином, що в одному з елементів (генераторі) відбувається випаровування агента, а в іншому (абсорбері) – його поглинання. За аналогією з ПТНУ абсорбер відіграє роль усмоктувальної сторони компресора, а генератор – нагнітальної. Як робочі середовища найчастіше застосовують водні розчини аміаку і бромистого літію, причому в першому розчині аміак, а в другому вода є робочими агентами.

У світовій практиці найбільш поширеними є парокompресійні ТНУ. Це пояснюється, з одного боку, їхньою більшою енергетичною ефективністю в порівнянні з АТНУ, з другого – характерним для розвинених країн практично необмеженим постачанням електроенергії, яка з ПТНУ йде на привод електродвигуна компресора. Зарубіжні ПТНУ є компактними і високотехнологічними агрегатами.

Робочі середовища АТНУ – водні розчини аміаку або бромистого літію – менш дефіцитні й зручніші в експлуатації завдяки своїй меншій текучості; розчин бромистого літію екологічно безпечний. Для виготовлення теплообмінного устаткування АТНУ використовують порівняно недорогі гатунки сталі.

Простота конструкції та виробництва вигідно відрізняють АТНУ від ПТНУ, де потрібне прецизійне виготовлення і складання компресорів; використовуються складні спеціалізовані технології для конденсаторів і випарників, куди витрачають переважно мідні й алюмінієві сплави. З цим також пов'язана висока надійність АТНУ та малі витрати на їхнє обслуговування.

Теплонасосні схеми можуть бути центральними, центрально-місцевими, автономними.

Центральні системи. Одержання тепла, холоду, нагрівання, зволоження й осушення повітря відбувається централізовано, повітря розподіляють по вентиляційних каналах. Перевага – застосування великих установок, вентиляторів та іншого устаткування знижує капіталовкладення. Вади – складне впровадження пристрою у вже споруджені будівлі; доконечна

потреба в підведенні граючої й охолоджувальної води; дорожчання системи регулювання за необхідності підтримувати різний мікроклімат в окремих приміщеннях будівлі.

Центрально-місцеві системи. Тепло і холод виробляються централізовано, потім подаються до приміщень, де в місцевих кондиціонерах відбувається обробка повітря. Їхня назва пов'язана з прагненням створити установку, що поєднала б достоїнства центральної й автономної системи.

Автономні системи. Обробка повітря, вироблення тепла і холоду здійснюється децентралізовано. Завдяки цьому досягають великої гнучкості в роботі, не потрібно підводити енергоносії, можливим є використання як нових, так і наявних будівель. Зауважені достоїнства визначають і гандж системи: високу питому вартість, відносно великий шум у кондиціонованих приміщеннях.

За принципом дії застосовують три основні типи ТН (як і холодильних машин): термоелектричні, повітряні (газові) й парові. Парові теплонасосні установки підрозділяють на абсорбційні та парокомпресійні.

Абсорбційні теплові насоси. Їхня дія заснована на використанні абсорбції водяної пари робочої рідини, що відбувається за допомогою розчину. Найефективнішими вони є тоді, коли температура відпрацьованого теплоносія становить  $100^{\circ}\text{C}$  і вище. У цих ТН, як правило, застосовують дві речовини: робочий агент і абсорбент. Найперспективнішим робочим агентом є вода, абсорбентом – циклічний їдкий натр  $\text{NaOH}$ , їдкий калій  $\text{KOH}$ , хлористий кальцій  $\text{CaCl}_2$ , бромистий літій  $\text{LiBr}$ ; усі вони поглинають і виділяють воду.

За рахунок тепла, підведеного від зовнішнього джерела, в генераторі відбувається випаровування розчину абсорбенту. Водяна пара, що виділяється при цьому, надходить до конденсатора. Утворений конденсат дроселює в регулювальному вентилі й потрапляє у випарник, де на його випаровування підводиться тепло від доквілля. З випарника пара надходить до абсорбера і поглинається розчином абсорбенту. Тепло абсорбції, що при цьому виділяється, відводиться охолоджувальною водою, а збагачений розчин абсорбенту подається в генератор. Після виділення пари абсорбенту розчин у генераторі стає слабким і крізь другий регулювальний вентиль надходить для збагачення в абсорбері.

У ФРН у 80-х роки було проведено економічний аналіз щодо застосування абсорбційних теплових насосів індивідуального призначення. Їхнє використання дало змогу на 30% скоротити витрату палива порівняно з опалюванням газомазутової котельні.

Ціна устаткування АТНУ коливалася в межах від 0,7 до 1,0 тис. марок на 1 кВт проектної потужності. При цьому капіталовкладення на моно валентну схему (опалення тільки за рахунок ТНУ) і бівалентну схему (ТНУ й газовий котел у піковому режимі) були практично однакові. Нині термін окупності теплових насосів не перевищує 10 років, а їхнє розрахункове фізичне спрацювання становить 20 і більше років.

Відносною вадою АТНУ є їхні габарити, що в 1,5–2 більші, ніж у ПТНУ. Однак при цьому питома споживана потужність знижується в 5 і більше разів. У разі ж використання безнасосної схеми й обігріву генератора скидною теплою практично зникає потреба в якісній первинній енергії – електриці, газі, рідкому паливі.

Перевагою абсорбційних ТНУ є незначний тиск. Ганджем – спричинювана абсорбентом сильна корозія звичних конструкційних матеріалів. Застосування спеціальних матеріалів, поза сумнівом, позначається на їхній вартості.

Характерною особливістю АТНУ є те, що єдиним джерелом первинної енергії виступає теплота. Енергетичною характеристикою АТНУ слугує коефіцієнт трансформації, що вірогідно є відношенням тепло- або холодопродуктивності до кількості теплоти, підведеної від граючого джерела. У наш час технічно досягне значення коефіцієнта трансформації лежить у межах 20...60%. Це означає, що така частка низькопотенційної теплоти, яку звичайно втрачають, перетвориться на придатну для використання.

Звідси випливає, що пріоритет у використанні АТНУ має широке коло технологічних процесів, які супроводжує виділення скидної теплоти – тобто утилізація низько потенційних теплових ВЕР. Чимало теплоти скидають житлово-комунальні господарства, а отже її використання створить можливість звести до мінімуму потреби первинної енергії на опалення і гаряче водопостачання.

Парокомпресійні теплові насоси. Такі насоси здійснюють різновид теплонасосних циклів з робочим тілом у вигляді вологої пари. Парокомпресійний цикл забезпечує ізотермічні процеси підведення і відведення тепла, та, по суті, не відрізняється від загальновідомого холодильного циклу. Робоче тіло з конденсатора потрапляє в регенеративний теплообмінник і, дроселюючи в регульовальному вентилі, надходить до випарника, де відбувається його випаровування. Водяна пара, що утворилася при цьому, через теплообмінник відсмоктується за допомогою компресора. У компресорі відбувається стиснення пари (підвищення тиску і температури). Стиснута пара надходить до конденсатора, де й конденсується, віддаючи тепло споживачеві. Далі цикл повторюється і здійснюється безперервна циркуляція робочого тіла в циклі теплонасосної установки. У теплообміннику має місце теплообмін між парою і рідиною, що рухаються одна одній назустріч. Як наслідок, рідина переохолоджується, а пара перегрівається.

Найпоширенішими є системи парокомпресійних теплових насосів типу “повітря-повітря” і “вода-вода”, а найприйнятнішими робочими агентами – фреон-12, 22 і 12В1. При цьому фреон-12 і -22 можна використовувати в системах цілорічного кондиціонування повітря, а фреон-12В1 – у системах гарячого водопостачання. Ці речовини нешкідливі, незаймисті, вибухобезпечні, вони також характеризуються помірним тиском конденсації

у сфері робочих температур експлуатації.

### **8.5. Використання низькопотенційних ВЕР на основі ТНУ**

Технічний комітет МІРЕК на підставі аналізу наукових досліджень і досвіду експлуатації термотрансформаторів указує на економічну й екологічну доцільність використання енергії доквілля і низькотемпературної теплоти (20 – 60°C) у парокомпресійних теплонасосних установках, а низько- та середньопотенційного тепла на рівні 80 – 250°C – в абсорбційних перетворювачах теплоти.

Енергетичного ефекту від упровадження ТНУ можна досягти за рахунок як прогресивнішого способу одержання теплоти з мінімальними втратами енергії, так і абсолютної економії дефіцитного органічного палива, залучаючи величезні кількості скидної теплоти до енергетичного балансу. Масове впровадження ТНУ дасть змогу скоротити об'єм перевезень палива, що за умови загострення транспортної проблеми має неабияке самостійне значення.

Сприятливими передумовами для розвитку теплових насосів є такі:

- тенденції до зменшення відношення вартостей електроенергії й палива;
- наявність потужних низькотемпературних теплових скидів у промисловості;
- збільшення споживання природного газу, що стимулює розвиток великих ТНУ з газотурбінним приводом;
- доконечність захисту доквілля від зрослої кількості шкідливих викидів;
- накопичений світовий досвід експлуатації та проектування ТНУ теплопродуктивністю від одиниць кіловат до десятків мегават.

Наостанку розгляньмо деякі шляхи використання ТНУ для утилізації низько потенційної теплоти ВЕР.

Як відомо, в тепловому балансі багатьох ТЕУ, зокрема парогенераторів, значну кількість втраченої теплоти (до 10%), становить теплота низькотемпературних вихідних газів. Її використання в традиційних теплообмінниках виявляється неекономічним унаслідок знижених температурних натисків і малих коефіцієнтів тепловіддачі з боку газу.

Помітні переваги має використання як утилізаторів абсорбційних теплонасосних установок, які дають змогу, в одному випадку, одержати вищу температуру робочого агента, в іншому, за наявності споживача – перетворити низькопотенційну теплоту на холод. Можливі й розщеплювальні схеми, коли одночасно однією гілкою виробляється високопотенційна теплота, а іншою – холод.

Абсорбційні теплонасосні установки характеризуються високою надійністю, широким діапазоном зміни навантаження, незначним споживанням електроенергії. Вони можуть застосовуватися як індивідуально,



так і в комбінації з теплоутилізаторами, зокрема з передувімкненими скруберами під час утилізації запилених і сірчистих газів.

У процесі роботи на чистих газах подальше використання теплоти газів можливе також у парокомпресійних теплонасосних установках, де газ є джерелом низькопотенційної теплоти для випарника. Температура зворотної води в конденсаторі ТНУ досягає при цьому 70 – 80°C, що відповідає рівню температур системи теплопостачання автономних споживачів. При цьому можливе підвищення енергетичної ефективності енергоустановок, наприклад, електростанцій не менше ніж на 10% під час використання відпрацьованої або добірної водяної пари парових турбін як джерела енергії випарників.

Зарубіжний досвід свідчить, що застосування опалювальних систем із тепловими насосами – один з перспективних і досить ефективних способів енергозбереження. Проте в умовах тривалого розвитку вітчизняних систем централізованого теплопостачання їхнє переналаштування на низькотемпературне опалення, характерне для ТНУ, є складною справою. Водночас великим споживачам енергії система ТНУ + ТЕЦ дасть змогу збільшити вироблення електроенергії на тепловому споживанні, одержати в конденсаторах ТНУ теплоту для додаткових споживачів, знизити температуру зворотної води і тим самим зменшити теплові втрати під час транзиту мережевої води.

Теплові скиди ТЕЦ і промислових підприємств, що цілий рік мають температуру 20 – 40°C, практично не можуть використовуватися безпосередньо й охолоджуються в градирнях або інших випарних охолоджувачах, віддаючи в атмосферу частину води разом з теплотою. Технічно можливою є заміна градирень випарниками ТНУ, при цьому ступінь охолодження води за збереження її витрати також у середньому буде близько 10°C.

Така заміна вигідна енергетично з погляду економії капітальних і трудових витрат, а також завдяки тому, що система водопостачання стає замкнутою й різко скорочуються втрати води, що випаровується в градирнях. У процесі охолодження води не в градирні, а за допомогою холоду, виробленого ТНУ, економічний ефект суттєво зростає в разі, коли температура охолоджуваної води наближається до нижньої температурної межі можливостей градирень.

Найбільшого енергетичного й економічного виграшу від застосування ТНУ можна досягти у виробництві, де технологічний процес не обходиться без комплексних систем тепло- і холодопостачання. Такі системи мають місце на підприємствах хімічної, нафтопереробної та інших галузей промисловості, в сільському господарстві, житлово-побутовому секторі. Парокомпресійні чи абсорбційні теплові насоси можуть одночасно виконувати функції теплопостачання й охолодження води, що подається в технологічні апарати.

За попередніми оцінками, застосування ТНУ дасть змогу майже вдвічі знизити витрату палива на потреби теплопостачання, поліпшити експлуатаційні показники енергосистем за рахунок роботи ТНУ з акумуляцією теплоти в “провальні” години графіка електричного навантаження; зменшити теплове забруднення довкілля. Завдяки високій маневреності ТНУ вони можуть бути успішно використані як споживачі-регулятори електричного навантаження, що вирівнюють добову нерівномірність навантаження цих графіків. Окрім того, за скорочення питомої витрати палива з’являється можливість і далі експлуатувати морально застарілі ТЕС.

Зупинімося докладніше на деяких напрямках енергозбереження на основі використання теплових насосів для утилізації ВЕР.

Застосування теплових насосів для енергозбереження. У промисловості й у житлово-комунальному господарстві як джерело теплоти для роботи теплових насосів можуть бути використані такі види теплових ВЕР:

- теплота охолоджувальної води парових турбін теплових й атомних електростанцій, промислових печей, компресорних установок, апаратів хімічної технології. Часто ця вода використовується повторно і прямує на охолодження до градирень і апаратів повітряного охолодження;
- теплота стічних вод різних промислових підприємств і підприємств житлово-комунального господарства (лазні, пральні, басейни);
- теплота продуктів згорання в котельних установках і промислових печах, а також у печах для спалювання твердих і рідких відходів;
- теплота продуктів згорання в газотурбінних установках і дизельних двигунах:
  - теплота водяної пари низького тиску, що викидається в атмосферу (випар);
  - теплота відпрацьованого сушильного агента в сушильних установках;
  - теплота гарячих розчинів у випарних і ректифікаційних установках;
  - теплота мастила, використовуваного в турбінах електростанцій і в електричних трансформаторах;
  - теплота повітря, що йде від систем вентиляції та кондиціонування повітря житлових, громадських і промислових будівель;
  - теплота витяжного повітря станцій метрополітену та повітря каналів метро.

Низькопотенційну теплоту ВЕР можна використовувати безпосередньо за допомогою теплообмінних апаратів, наприклад, для підігрівання вентиляційного припливного повітря, попереднього підігріву повітря, що направляється в топкові пристрої, для підігрівання сушильного агента в установках для сушіння матеріалів тощо, проте далеко не завжди це здійснене на практиці.

Теплота підвищеного потенціалу, одержувана в теплових насосах, має ширші сфери використання. Окрім зазначених галузей споживання вона може використовуватися також на опалення, гаряче водопостачання,

підігрівання технологічних газів і рідин в апаратах хімічної технології, випарних, перегінних і ректифікаційних установках, у процесах варення, під час рекомпресії пара.

Найбільш доцільно застосовувати ТН, якщо є:

- стабільне в часі джерело теплоти з температурою 10...50°C;
- споживач теплоти з температурою 60...120°C; у багатьох випадках саме відсутність споживача теплоти утрудняє застосування теплових насосів;
- джерело недорогої електричної енергії при дефіциті тепла;
- невелика різниця між температурами джерела і споживача, в цьому випадку тепловий насос має значний коефіцієнт перетворення;
- джерело теплоти – гаряча вода, водяна пара, що конденсується, або парогазова суміш (ці теплоносії, на відміну від повітря, мають високий коефіцієнт тепловіддачі, що забезпечує малі габарити випарника теплового насоса);
- потреба одночасно виробити теплоту і холод; наприклад, охолодження молочних продуктів та опалення цеху;
- змога влітку використовувати тепловий насос у системі кондиціонування, а в зимовий час – у системі опалення.

Розгляньмо деякі схеми, в яких можуть бути використані теплові насоси:

- використання теплового насоса для охолодження зворотної води, що охолоджує конденсатор парової турбіни теплової електростанції (рис. 8.6.).

Як уже наголошувалося, для охолодження зворотної води зазвичай застосовують градирні. У цьому випадку температура води, що надходить із конденсатора до випарника теплового насоса, може становити залежно від сезону 20...35°C, а це дає змогу одержувати високий коефіцієнт перетворення і короткий термін окупності. Застосування теплового насоса дає змогу скоротити витрати води, що надходить для підживлення системи водопостачання, поліпшити екологічну обстановку поблизу градирні.

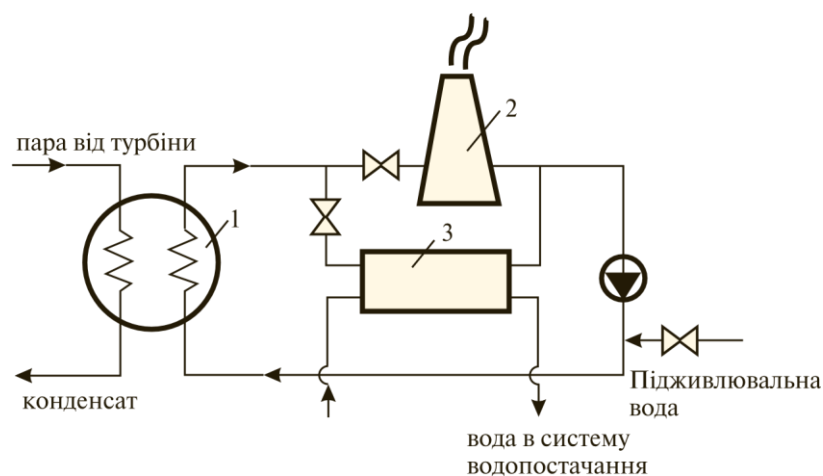


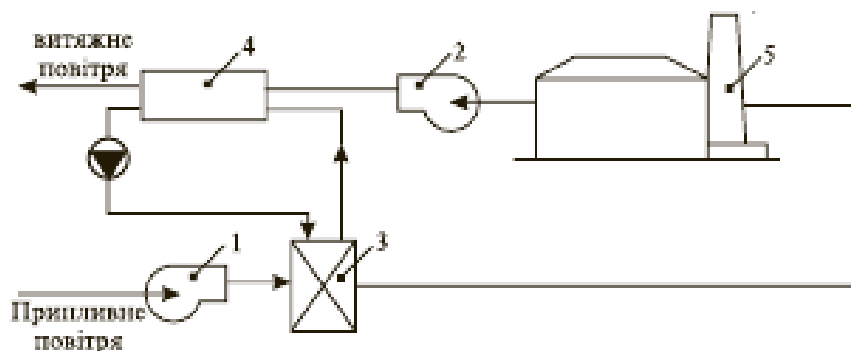
Рис. 8.6 – Застосування теплового насоса для утилізації тепла зворотної води теплової електростанції

Зниження температури води, що потрапляє в конденсатор за рахунок глибшого її охолодження, сприяє збільшенню ККД станції.

Використання теплового насоса для утилізації тепла вентиляційних викидів промислового підприємства (рис. 8.7.).

Наявність шкідливих речовин, пари рідин або твердих частинок у вентиляційних викидах унеможливають застосування рециркуляції витяжного повітря. Використання теплового насоса в такій схемі дає змогу відмовитися від традиційного для цих випадків застосування теплообмінників-утилізаторів. Виробленої насосом теплоти звичайно достатньо для підігрівання води, що забезпечує роботу калориферів, які нагрівають припливне повітря.

Часто за джерело для роботи теплового насоса правлять стічні води промислового підприємства. Звичайно ці води окрім розчинених або зважених домішок мають ще й високу температуру. Перед зливанням у промислову каналізацію ці води мають бути заздалегідь охолоджені, щоб не зашкодити системі біологічного очищення. Тепловий насос не тільки охолоджує стічні води, а й нагріває теплоносії для системи теплопостачання.



*1, 2 – вентилятори; 3 – підігрівач повітря;  
4 – тепловий насос; 5 – промислова будівля*

*Рис. 8.7 – Застосування теплового насоса для підігрівання припливного повітря в системі вентиляції*

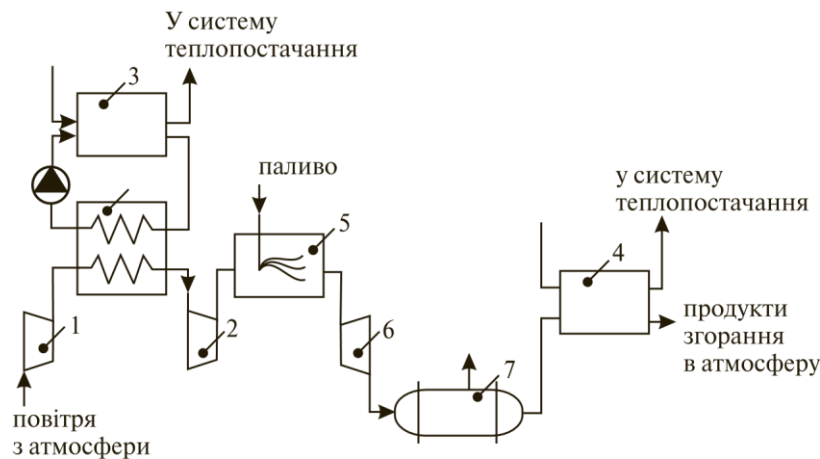
Застосування газотурбінних установок для вироблення електроенергії (рис. 8.8) дає змогу використовувати теплові насоси як для охолодження вихідних продуктів згорання (при цьому частину теплоти доцільно використовувати в котлах-утилізаторах або рекуперативних теплообмінниках), так і для зниження температури теплоносія, що забезпечує проміжне охолодження ступенів компресора.

Проміжне охолодження ступенів компресора збільшує ККД газотурбінної установки та істотно зменшує викид в атмосферу оксидів азоту. Сама газотурбінна установка може прислужитися як джерело електричної або механічної енергії для теплового насоса. Газотурбінні

установки широко застосовуються не тільки для вироблення електроенергії. Частіше їх використовують для перекачування газу магістральними газопроводами, проте застосування теплових насосів на газоперекачувальних агрегатах утруднене, оскільки вони звичайно розташовуються далеко від споживачів теплоти.

Особливо слід розглянути випадки, коли застосування теплових насосів не виправдано.

– Як джерело теплоти для роботи недоцільно застосовувати теплоту палива, спеціально спалюваного для таких цілей, навіть якщо це паливо є надто дешевим. Температура димових газів достатня для того, аби безпосередньо нагрівати теплоносій у котельній установці.



- 1, 2 – ступені стиснення повітря в компресорі;  
3 – проміжний водоповітряний теплообмінник; 4 – теплові насоси;  
5 – камера згорання; 6 – газова турбіна; 7 – котел-утилізатор*

*Рис. 8.8 – Застосування теплового насоса спільно з газотурбінною установкою*

Під час роботи теплового насоса одержана споживачем теплота (без урахування втрат) буде рівна сумі одержаної теплоти від продуктів згорання і роботи, що витрачається на привод компресора. У цьому випадку вона виробляється з ККД набагато нижчим за одиницю. Це не означає, що теплота продуктів згорання не може бути використана в теплових насосах, проте нею доцільно послуговуватися в тих випадках, коли основну частину тієї теплоти вже витрачено на безпосередній нагрів теплоносія, і продукти згорання істотно охолоджено.

- За джерело теплоти для теплового насоса не слід брати “зворотну” воду систем теплопостачання, що віддала теплоту в опалювальних приладах; адже вода із системи теплопостачання безпосередньо нагрівається за рахунок первинного палива і споживач теплоти несе подвійні витрати: оплачує вартість палива й вартість електричної енергії на привод компресора.

- Під час використання повітря як джерела теплоти слід мати на увазі,

що існує поріг температури кипіння робочого агента і відповідної температури зовнішнього повітря, коли робота теплового насоса стає неможливою. Значення цієї температури визначає тип уживаного робочого агента й тиск у випарнику теплового насоса. Таким чином, за низьких температур повітря робота таких теплових насосів стає спочатку неекономічною (унаслідок зменшення коефіцієнта перетворення), а потім фізично неможливою.

Достоїнства теплових насосів широко відомі: це змога істотно економити паливо, екологічна чистота (під час роботи теплових насосів не спалюється паливо), можливість працювати як у централізованих, так і в нецентралізованих системах тепlopостачання та ін. Про недоліки теплових насосів згадують рідше, тому завважимо основні з них.

- Джерела вторинних енергоресурсів не завжди стабільні в часі; їх теплопродуктивність не завжди достатня для того, щоб забезпечити теплотою споживача в холодний період року. Тому для надійної роботи систем тепlopостачання потрібен не лише насос, а й додаткове джерело теплоти.

- Шум від компресорів теплових насосів утрудняє їх застосування в житлових і громадських будівлях, особливо у випадках, коли застосовують теплові насоси великої потужності.

- Фреони, використовувані як робоче тіло, є досить коштовними. Під час розгерметизації контура теплового насоса та проведення ремонтних робіт їх доводиться міняти, і споживач зазнає додаткових витрат.

На цей момент вартість теплових насосів висока і термін їх окупності за нинішніх цін на енергоносії може бути тривалим.

### **Запитання і завдання для самоперевірки**

1. Перспективи розвитку теплових насосів в Україні?
2. Потенціал та стан низько потенційного тепла в комунальній енергетиці.
3. Термодинамічні основи роботи теплових насосів?
4. Характеристики теплових насосів.
5. Схема теплових потоків енергії в опалювальних котельнях в комунальному господарстві.
6. Схема потоків енергії при опаленні тепловими насосами.
7. Схема парокомпресійного теплового насоса.
8. Схема перетворення низькопотенційної енергії в тепловому насосі.
9. Напрямки використання теплових насосів?
10. Класифікація теплових насосів.
11. Типи теплових насосів?
12. Використання вторинних енергетичних ресурсів на основі теплових насосів.

13. Утилізація тепла зворотної води на тепловій електростанції.
14. Застосування теплового насоса для підігрівання припливного повітря системі вентиляції.
15. Застосування теплового насоса з газотурбінною установкою.

## РОЗДІЛ 9

### ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

#### 9.1. Проблеми вітчизняних харчових виробництв екологічного характеру

Запорукою сталого розвитку нашої держави є збереження і відновлення довкілля. Недотримання умов гармонійного співіснування природи і суспільства ставить під загрозу життєдіяльність людства. Новітня історія має чимало прикладів того, як споживацьке та насильницьке ставлення до природи супроводжується виникненням серйозних загроз повноцінному існуванню будь-якої країни. Вплив негативних антропогенних чинників на навколишнє природне середовище вже тепер перевищує компенсаційні можливості біосфери. Нині межі розвитку людства визначаються ступенем екологічних порушень, а не простим споживанням ресурсів. Втручання людини у природні процеси зайшло вже так далеко, що пов'язані з цим зміни можуть виявитись незворотними у разі невжиття серйозних господарських природоохоронних заходів.

Економіці України притаманна висока питома вага ресурсномістких та енергоємних технологій, проектування і впровадження яких здійснювалися «найдешевшим» способом – без будівництва очисних споруд. Це стосується і харчових виробництв. Харчова промисловість України об'єднує 25 підгалузей, що мають понад 22 тисячі підприємств, асортимент продукції яких перевищує 4 тисячі найменувань. Питома вага харчової і переробної промисловості в загальному обсязі промислового виробництва країни становить близько 18% і за цим показником галузь посідає друге місце в економіці країни. За ступенем антропогенного впливу на довкілля харчова промисловість України справляє значно меншу негативну дію, ніж цілий ряд інших галузей: металургійна, гірничо-видобувна, хімічна, нафтопереробна, теплоенергетична, целюлозно-паперова тощо. Водночас технологічні процеси виробництва багатьох харчових продуктів характеризуються високими питомими витратами сировини, палива, енергії, води та інших природних ресурсів, що робить їх неконкурентоспроможними на міжнародному ринку. Крім того утворені і виведені у навколишнє середовище виробничі відходи різного агрегатного стану та хімічного складу забруднюють атмосферу, водойми та ґрунти, що негативно впливає на екологічну безпеку довкілля і, зокрема, рослинної та тваринної сировини для харчових виробництв.

Багато років підприємства харчової промисловості не мали мотивації щодо серйозних практичних дій в плані екологізації виробництва та раціональної утилізації або очищення відходів за встановленими вимогами. Причини: необхідність вкладання великих коштів для вирішення цих проблем, незначна реальна підтримка та відсутність економічного



стимулювання природоохоронних заходів з боку держави, невелика плата за скиди і викиди у довкілля.

Таке становище стало наслідком недостатнього впровадження мало- та безвідходних харчових технологій, а також того, що на більшості підприємств працює морально застаріле і фізично спрацьоване природоохоронне устаткування (пило- та водоочисні споруди) або його зовсім немає, практично немає технологій перероблення виробничих відходів тощо. Але в останнє десятиріччя, коли постала потреба у входженні українських підприємств у європейську та світову економічну спільноти та одержанні міжнародних сертифікатів не тільки щодо якості продукції, а й екологічного стану виробництва, актуальність екологізації харчових підприємств різко зростає.

В умовах економічної та екологічної кризи перед харчовою промисловістю України постало завдання не тільки збільшити обсяги виробництва доступних для широких верств населення традиційних продовольчих товарів, а й забезпечити споживачів біологічно повноцінними та екологічно безпечними харчовими продуктами на основі натуральної сировини. Актуальним є застосування інноваційного підходу до створення принципово нових та удосконалення існуючих технологій, що передбачає; реалізацію принципів енерго- та ресурсозаощадження, інтенсифікацію і екологізацію технологічних процесів тощо. При цьому глибоке комплексне перероблення сільськогосподарської сировини сприятиме не тільки збільшенню обсягів виробництва повноцінних за складом харчових продуктів, а й зниженню негативного впливу виробничих комплексів на довкілля. В напрямку екологізації навколишнього середовища актуальним також є комплексна переробка твердих побутових відходів та стічних вод, які нерозривно пов'язані з різними галузями харчової промисловості.

## **9.2. Оцінка екологічного стану і потенціалу харчової промисловості України**

*Економічний аналіз ефективності екологізації харчового виробництва.* Підвищення рівня еколого-економічної ефективності розвитку харчової промисловості є одним із важливих напрямів забезпечення виробництва в достатній кількості високоякісних екологічно безпечних продуктів харчування для задоволення обґрунтованих потреб населення. При цьому слід забезпечити мінімальні витрати природних ресурсів – сировини рослинного і тваринного походження та енергоносіїв, а також значно поліпшити екологічний стан довкілля. У зв'язку з цим основними пріоритетами «зеленої» (екологічної) модернізації харчових виробництв є такі: широке впровадження у виробництво досягнень науково-технічного прогресу з метою раціонального використання природно-сировинних ресурсів; зменшення рівня використання природно-ресурсного потенціалу впровадженням безвідходних і маловідходних технологій; впровадження

технологій комплексної переробки сировини з підвищенням рівня і ефективності використання відходів виробництва харчової промисловості, перехід до безвідходних циклів виробництва, що забезпечують повну переробку сировини; впровадження у виробничий процес енергозберігаючих технологій з широким застосуванням нетрадиційних джерел енергії (сонячної, гідротермальної, вітрової енергії, біоенергетики та ін.); повсюдне впровадження в організаційну структуру підприємства харчової промисловості екологічного менеджменту відповідно до міжнародних стандартів; обов'язкове проведення еколого-економічної експертизи проектів «зеленої» модернізації наявних підприємств і будівництва нових та продукції з метою запобігання негативному впливу на навколишнє природне середовище і здоров'я людей; підвищення рівня економічних засобів регулювання системи природокористування через пільгове оподаткування екологічно безпечних виробництв, надання пільгових кредитів для здійснення природоохоронних заходів; обов'язкове врахування регіональних чинників під час розміщення підприємств харчової промисловості; підвищення ролі міжнародного співробітництва і широкий обмін досвідом природоохоронної діяльності.

Велике значення має впровадження комплексу еколого-економічних заходів щодо захисту повітряного басейну. Їх можна розподілити на чотири групи: санітарно-технічні – спорудження надвисоких димових труб, встановлення пилогазоочисного устаткування, герметизація технологічного і транспортного устаткування; технологічні – створення технологій, що ґрунтуються на частково чи повністю замкнених циклах, впровадження нових методів підготовки сировини, заміна вихідної сировини і сухих способів переробки пило небезпечних матеріалів мокрими, автоматизація виробничих процесів; планувальні – створення санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств, оптимальне розташування промислових підприємств; винесення найтоксичніших виробництв за межі міст, озеленення підприємств; контрольно-запобіжні – заборона виробництва окремих токсичних продуктів, автоматизація контролю за викидами.

Має зрости значення екологічного аудиту та екологічної експертизи. Остання є обов'язковою в процесі законотворчої, інвестиційної, управлінської, господарської та інших видів діяльності, що впливають на стан навколишнього середовища. Кінцевою метою екологічної експертизи є складання висновків про вплив на навколишнє середовище. Одне з основних завдань екологічного аудиту полягає в тому, щоб зробити аналіз стану навколишнього середовища невід'ємною частиною техніко-економічного обґрунтування проектів.

Для будівництва нових підприємств та «зеленої» модернізації існуючих істотним заходом екологізації харчових виробництв є впровадження екологічної освіти та виховання виробничого персоналу. Це дасть змогу підготувати екологічно свідомих і технічно грамотних виконавців програми екологізації харчової промисловості.

Для підвищення еколого-економічної ефективності розвитку харчової промисловості велике значення має еколого-економічна оцінка проектів у результаті здійснення екологічної експертизи. Вона передбачає оцінку економічної доцільності будівництва нових і «зеленої» модернізації діючих підприємств та споруд; економічне обґрунтування проектів; мінімізацію впливу проектного об'єкта на навколишнє середовище; визначення порівняного еколого-економічного ефекту капіталовкладень на будівництво нових і реконструкцію діючих виробничих об'єктів.

*Здійснення екологічного контролю на харчових підприємствах відповідно до вимог міжнародних стандартів.*

Екологічний аудит – управлінський інструмент, методологія, що ґрунтується на системному підході, за допомогою яких оцінюють і підвищують екологічну ефективність управління підприємством, галуззю з метою збереження навколишнього природного середовища і забезпечення власної екологічної безпеки та конкурентоспроможності. Екологічну ефективність управління оцінюють за критеріями відповідності вимогам: екологічного законодавства, екологічних норм і стандартів, екологічної політики, прогресивної практики; поліпшення екологічних характеристик виробництва, господарювання, результативності екологічних витрат.

Незалежна й об'єктивна екологічна експертиза слугує ефективним механізмом держави і суспільства у створенні нормальних умов для функціонування природних систем і біосфери загалом та гарантує їх екологічну безпеку.

Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому економічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Екологічну експертизу провадять з метою підготовки висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності того чи іншого об'єкта господарювання нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки. Екологічна експертиза має сприяти запобіганню появі нових, обмеженню та ліквідації виявлених негативних джерел впливу на довкілля та здоров'я людей, а також дає змогу оцінити ступінь екологічної безпеки господарської та екологічної діяльності на окремих територіях чи об'єктах.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей і стан ресурсів та можливих негативних екологічних наслідків; оцінка природоохоронних заходів; підготовка обґрунтованих висновків. Основними принципами

екологічної експертизи є: гарантування безпечного життя довкілля; збалансованість екологічних, економічних, медико-біологічних та соціальних інтересів; наукова обґрунтованість і незалежність, об'єктивність і гласність, варіантність і превентивність; державне регулювання; доцільність реалізації об'єктів експертизи; законність.

Розрізняють такі форми екологічної експертизи: державну, громадську, спеціальну й додаткову. Додаткову незалежну екологічну експертизу проводять за ініціативою зацікавлених організацій і осіб, а також за рішенням центральних та місцевих органів влади. Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення здійснює управління екологічної експертизи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки. Для врахування громадської думки щодо реалізації запланованої проектом господарської діяльності проводять громадську екологічну експертизу. Її здійснюють з ініціативи громадських організацій на добровільних засадах екологоекспертні формування з представників громадськості, преси та незалежних фахівців.

Для встановлення фактичного екологічного стану підприємства, визначення відхилень від норми й вимог чинного природоохоронного законодавства або міжнародних стандартів та накреслення заходів щодо приведення виробничої діяльності підприємства у відповідність з цими вимогами проводять екологічний аудит, тобто екологічне обстеження.

На практиці еколоґо-аудиторська діяльність може бути ширшою за стандартне визначення, залежно від намірів і бажання замовника щодо використання екоаудиту. Згідно з визначенням Ради Європейського союзу, екологічний аудит – це засіб управління, який надає систематичну, періодичну, об'єктивну й документовану оцінку системи управління та процесів, встановлених для охорони навколишнього середовища з метою: підвищення ефективності і полегшення контролю практики, що впливає на навколишнє середовище; оцінки узгодженості діяльності компаній з екологічною політикою.

Отже, екологічний аудит – це інструмент управління, який системно охоплює всі питання оцінки екологічної діяльності підприємства, удосконалення системи регулювання впливу на довкілля та його інвестиційної привабливості.

Екоаудит організується за ініціативою керівника або власника об'єкта і має характер самоконтролю екологічної діяльності. Його здійснюють незалежно від державної екологічної експертизи. Для проведення екоаудиту залучають спеціалізовані аудиторські організації, які мають відповідний кваліфікаційний сертифікат. Аудитори повинні знати сучасні передові досягнення технологій виробництва, щоб зробити критичну оцінку технології, яку перевіряють. Сфера дії екоаудиту – це система екоменеджменту підприємства, його виробничі площі та прилегла територія

на відстані 5 км по периметру, основні й допоміжні технологічні процеси, будівлі та обладнання.

Актуальним є застосування екологічного аудиту під час приватизації, в інвестиційному процесі, при ціноутворенні та впровадженні «зелених» технологій, у разі поточної діяльності підприємства з метою визначення ефективності її.

Розрізняють такі типи екоаудиту: екологічна експрес-оцінка інвестиційних ризиків (інвестиційний, або фінансовий, аудит); оцінка екологічного стану ділянки території, власником якої є підприємство або якщо власник змінюється в процесі приватизації; екоаудит продукції на стадії маркетингових досліджень; технічний аудит на стадії виробничої діяльності; аудит системи екоменджменту підприємств.

Екоаудит дає змогу без додаткових бюджетних витрат підвищити ефективність управління охороною довкілля та поліпшити ефективність державного екоменджменту. Тому держава зацікавлена у впровадженні екологічного аудиту і створенні відповідних правових та нормативних умов для його здійснення.

Отже, впровадження екологічного аудиту сприяє:

- зменшенню витрат на видалення відходів зменшенням кількості їх;
- зменшенню витрат на сировину ефективним використанням її;
- зменшенню витрат на виробництво використанням кращих технологій;
- поліпшенню інформації, на якій ґрунтується рішення вибору технологій, що дає змогу вигідніше витратити кошти;
- зменшенню витрат на воду та енергію завдяки економному використанню їх;
- підвищенню рівня виробництва;
- розширенню ринків збуту товарів серед «екологічно свідомих» покупців;
- поліпшенню репутації підприємства.

*Еколого-економічне обґрунтування "зеленої" модернізації харчових виробництв*

«Зелену» модернізацію харчового підприємства здійснюють з метою екологізації виробництва, в результаті якої передбачається поліпшення якості та екологічної безпечності харчової продукції за найменших витрат природних ресурсів (сировини, енергії та допоміжних матеріалів) і завдання мінімальної шкоди навколишньому природному середовищу. В харчовій промисловості виробництво, якість продукції та її споживання нерозривно пов'язані з поняттями екологічності виробництва та екологічної безпечності харчової продукції. Тому збалансований, ефективний розвиток харчової промисловості неможливий без вирішення комплексу еколого-економічних проблем, спрямованих на розвиток виробництва і підвищення екологічної стабільності регіонів, де розміщені підприємства, що модернізуються.

Увесь комплекс еколого-економічних проблем у харчовій промисловості можна класифікувати за двома напрямками: підвищення екологічності виробництва (екологічний напрям) і забезпечення економічної доцільності й ефективності заходів з екологізації виробництва (економічний напрям «зеленої» модернізації). Основними проблемами екологічного характеру є:

- раціональне використання природних ресурсів;
- забруднення земельних ресурсів відходами виробництва;
- забруднення атмосферного повітря газодимовими викидами;
- забруднення природних водойм (поверхневих і підземних вод) скидами промислових стічних вод;
- негативний вплив відходів виробництва на відтворювальну здатність природних біоценозів, унаслідок чого порушуються природні ландшафти і природні колообіги речовин, змінюється структура навколишнього природного середовища;
- порушення регіональної стабільності, здоров'я та працездатності населення, зниження якості випущеної продукції унаслідок впливу забрудників на довкілля.

Із основних економічних проблем, які впливають на підвищення екологічності виробництва, слід назвати:

- правильне використання витрат для подолання шкідливих наслідків нераціонального природокористування (усунення завданих збитків та запобігання очищенню газодимових викидів і стічних вод, відновлення флори і фауни та працездатності людей);
- комплексна переробка сировини;
- впровадження мало- і безвідходних технологій;
- організація замкнених водооборотних циклів;
- впровадження системи енергозбереження з одночасним використанням нетрадиційних джерел енергії (сонячного випромінювання, енергії вітру, геотермальної енергії, біоенергетики, водної енергетики тощо);
- визначення оптимальних витрат на захист навколишнього природного середовища та їх ефективності;
- доцільний вибір методів економічного стимулювання природоохоронної діяльності, що сприяють здійсненню підприємствами цієї діяльності.

Серед основних завдань програми з екологізації харчових виробництв слід виділити такі: вироблення методологічної основи екологізації харчової промисловості; вивчення екологічної ситуації на підприємствах у кожній підгалузі харчової промисловості; формування й функціонування економічного механізму фінансування системи екологізації виробництв та охорони навколишнього середовища; раціоналізація розміщення продуктивних сил харчової промисловості з урахуванням можливостей для самовідновлення природного стану навколишнього природного середовища; створення передумов для функціонування соціально-екологічної стабільності

території та соціально-екологічного захисту населення від впливу діяльності харчових підприємств; екологізація технологій харчових виробництв; організація ефективної системи екологічної освіти та виховання для працівників харчової промисловості.

Екологізація технологій передбачає впровадження мало- та безвідходних технологій, що забезпечують мінімум розсіюваних та неутилізовуваних відходів. При цьому слід звернути увагу на: економне і комплексне використання природних ресурсів (сировини та енергії); зміну техніко-технологічних принципів організації виробництва на такі, що забезпечують динамічну екологічну рівновагу; урахування загального господарського навантаження регіону на навколишнє природне середовище; оптимізацію концентрації промислових об'єктів у регіоні; забезпечення діалектичної єдності обґрунтованих потреб населення і системи споживання; еколого-економічне обґрунтування всіх проектів організації нових виробництв та «зеленої» модернізації існуючих.

Отже, екологізація виробництва під час «зеленої модернізації» передбачає формування чіткої системи екологічних заходів, зокрема:

- впровадження мало- та безвідходних технологій;
- комплексну переробку сировини;
- використання ефективних систем водоочищення для підготовки якісної води для виробничих цілей;
- утилізацію відходів виробництва;
- комплексну переробку стічних вод з одночасним використанням продуктів водоочищення;
- впровадження ефективної екологізації технологій харчових виробництв;
- організацію ефективної системи екологічної освіти та виховання для працівників харчової промисловості;
- впровадження ефективної системи тепло- і енергозбереження;
- використання нетрадиційних джерел енергії;
- використання альтернативних екологічно безпечних технологій у сільському господарстві для вирощування високоякісної екологічно безпечної сільськогосподарської продукції та сировини рослинного і тваринного походження для постачання підприємств харчової промисловості;
- впровадження замкнених водооборотних циклів;
- очищення газодимових викидів і утилізація продуктів газоочищення там, де це можливо;
- мінімізацію розсіюваних та неутилізовуваних відходів;
- екологічне навчання персоналу підприємств, що модернізуються.

Екологізація виробництва може здійснюватися різними шляхами, а саме впровадженням: раціонального природокористування (заощадження природних ресурсів, витрат сировини, палива, енергії тощо) та екологічних нововведень у промисловість (виробництво екологічно безпечної харчової

продукції тривалого і багаторазового використання – наприклад, тари, споживання відновних природних ресурсів замість невідновних, комплексна переробка сировини та утилізація відходів виробництва і споживання, мінімізація розсіюваних і невідновних відходів, використання нетрадиційних джерел енергії тощо).

Процесу екологізації виробництва у харчовій промисловості повинні передувати передусім розробка програми екологізації виробництва і формування механізму природоохоронної діяльності. Серед основних завдань програми екологізації виробництва можна виділити такі:

- вироблення теоретичної, методологічної та методичної основи екологізації виробництва за різних форм власності;
- створення можливостей для екологізації виробничого потенціалу харчових підгалузей виробництва, вивчення передумов переведення господарських навантажень з природних комплексів на техногенні та економічні;
- раціоналізація розміщення продуктивних сил харчової промисловості з урахуванням можливостей для самовідновлення екологічного стану природного середовища;
- створення передумов для функціонування соціально-екологічної стабільності території та соціально-екологічного захисту населення від негативного впливу діяльності підприємств;
- формування і функціонування економічного механізму фінансування охорони навколишнього середовища;
- організація ефективної системи екологічної освіти та виховання, формування екологічного світогляду у працівників харчової промисловості.

В основу екологізації харчових виробництв покладено такі принципи:

- планомірність і комплексність процесів екологізації, запобігання вузьковідомчим інтересам;
- раціональність розміщення виробництва і концентрація продуктивних сил з урахуванням екологічних проблем;
- територіальний підхід, максимальне врахування економічних і соціальних умов регіонів, рівня використання природно-ресурсного потенціалу;
- глибоке вивчення можливих змін, що можуть вплинути на здоров'я та умови життя людей, зміну естетичних цінностей природних і антропогенних ландшафтів;
- науковість екологізації, здійснення екологічної експертизи проектів та організація науково обґрунтованих форм екологізації виробництва. Важливою ланкою у ланцюзі екологізації виробництв та зростанні економічної ефективності є інвестиційна система природокористування. Зміна пріоритетів у розподілі інвестицій екологічного призначення виявляється у збільшенні частки інвестицій, спрямованих на здійснення природоохоронних і природооновлювальних комплексів, а також науково-



технічних розробок поліпшення якості природного середовища та інтенсифікації природокористування.

До пріоритетних напрямів екологізації виробництв можна віднести:

- вирішення проблем регенерації харчових відходів і використання їх як вихідної сировини в інших виробництвах. Відходи виробництва і споживання слід розглядати як основні джерела палива, сировини, матеріалів;

- розширення комплексності використання кожного виду ресурсів;
- інтенсифікація розвитку природо експлуатаційних галузей на основі ресурсозбереження. Виробництво харчових продуктів має здійснюватися за умови забезпечення відносної стійкості та продуктивності природних екосистем;

- розробка нових і вдосконалення існуючих конструкційних матеріалів, що відкривають перспективи вирішення сировинних проблем. Отже, в результаті екологізації виробництва модернізована модель із поліпшеними еколого-економічними характеристиками може бути отримана лише завдяки застосуванню системного підходу та екологічного менеджменту.

На основі комплексного аудиту, який передбачає обстеження промислової ділянки, прилеглої місцевості, відходів та системи екологічного менеджменту тощо, розпочинають процеси екологізації виробництва з формулювання завдань та розроблення програми. Після цього перехід від вихідної до кінцевої, або модернізованої, екологічної моделі здійснюють із застосуванням екологічного інжинірингу та екологічного маркетингу модернізації діючого технологічного процесу. В результаті у виробництво впроваджують «зелені» технології, тобто екологічно безпечні технології, що гарантують випуск екологічно безпечної продукції. Отже, екологічний аудит надає змогу встановити дійсний екологічний стан на підприємстві та розробити програму екологічного й технічного оздоровлення виробництва, а екологічний маркетинг – управлінські й технологічні рішення, спрямовані на виконання запропонованих заходів. За допомогою екологічного інжинірингу впроваджують усі заплановані заходи у виробництво.

### **9.3 Тверді побутові відходи**

#### **9.3.1 Характеристика та проблеми утилізації твердих побутових відходів**

Проблема побутових відходів з часом не просто не вирішується, а набуває усе більшої і більшої гостроти. Основним документом, який встановлює класифікацію відходів в Україні є Державний класифікатор відходів ДК 005–96, затверджений наказом Держстандарту України від 29 лютого 1996 року № 89. Цей документ визначає відходи як будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи

виявлення, власник яких позбувається, має намір або повинен позбутися їх шляхом утилізації чи видалення.

Діяльність людини зумовлює утворення твердих відходів. Газоподібні і рідкі відходи швидко поглинаються природним середовищем, на відміну від них, тверді відходи асимілюються десятки і сотні років. Місця складування твердих відходів займають великі території. В Україні щороку утворюється до 1,5 млрд. тон твердих відходів. Загалом в країні накопичилось до 30 млрд. тон. Звалища відходів займають більше 150 тис. га. Об'єм утворення твердих відходів в Україні в 6,5 разів більший ніж в США і в 3,2 рази ніж в країнах ЄС. Проблема відходів – це, в основному, проблема міст, чим більше місто, тим більше відходів.

Побутовими вважаються відходи, які утворюються в процесі життєдіяльності людини, накопичуються у житлових будинках, закладах соціальної сфери, та є непридатними до подальшого використання за місцем їх утворення.

В Україні також прийнята класифікація відходів за класами небезпеки згідно ДСанПіН 2.2.7.029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення" (I клас – надзвичайно небезпечні, II клас – високо небезпечні, III клас – помірно небезпечні, IV клас – мало небезпечні). Строго кажучи, ця класифікація стосується промислових відходів, однак її часто застосовують і для ТПВ, відносячи їх до IV класу небезпеки.

Склад (морфологія) ТПВ може суттєво варіювати у різних країнах чи навіть різних населених пунктах. Однак перелік основних компонентів ТПВ є, в цілому, незмінним і включає:

- Матеріали біологічного походження – залишки продуктів харчування, рештки рослинності, папір;
- Потенційна вторинна сировина – папір, метали, скляна та пластикова тара тощо;
- Інертні матеріали – каміння, кераміка, пісок, цегла, бруд тощо;
- Композиційні матеріали – синтетичний текстиль, пластмаси, електроприлади;
- Небезпечні матеріали – аерозолі, фарби, добрива, інші хімікати.

Від поняття ТПВ, як правило, прийнято відділяти деякі потенційно небезпечні муніципальні відходи, які потребують особливого поводження (медичні відходи, акумуляторні батареї, автомобільні шини, флуоресцентні лампи тощо).

Розвиток сфери поводження з ТПВ у найбільш розвинених країнах Європи дозволяє переробляти, компостувати та спалювати до 95% утворених відходів. При цьому обсяги переробленого та компостованого сміття перевищують обсяги спаленого. А спалення як таке здебільшого здійснюється в енергетичних цілях. Досвід цих країн показує, що переробка твердих побутових відходів – економічно, екологічно та соціально вигідний вид діяльності.

Лідерами за обсягами корисного використання ТПВ є Бельгія, Данія, Нідерланди, Німеччина, Швеція та Швейцарія. Питома вага побутових відходів, що захоронюються, у цих країнах не перевищує 5% від їх загального обсягу. При цьому показники переробки та компостування перевищують 50%, а питома вага спалення ТПВ з метою рекуперації енергії в усіх перелічених країнах крім Німеччини складає 99...100%.

Показники поводження з твердими побутовими відходами в Україні є прямо протилежними. За останньою інформацією Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, щорічний обсяг утворення ТПВ в Україні складає приблизно 52 млн. куб. м, або 13 млн. тонн. Обсяги їх переробки, компостування та спалювання не перевищують 8%. Таким чином, більше 90% ТПВ щорічно захоронюються на полігонах, велика частина з яких перевантажена та експлуатується з порушеннями базових екологічних та проектних норм (рис. 9.1).

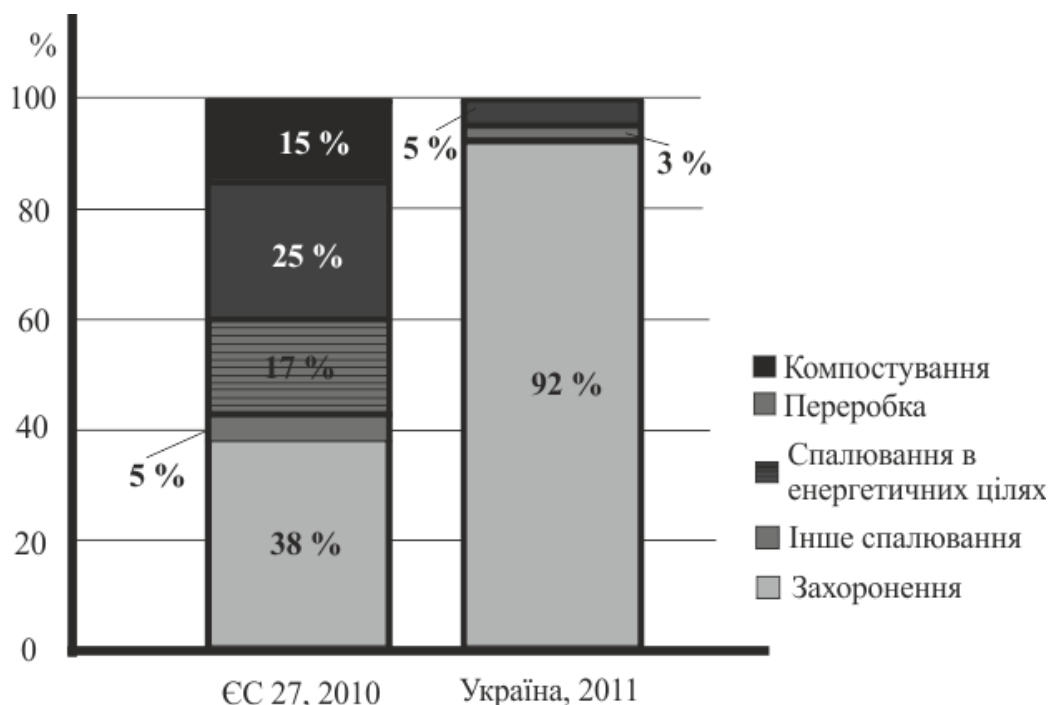


Рис. 9.1 – Показники поводження з твердими побутовими відходами

В останні роки обсяги утворення ТПВ у ЄС-27 демонструють чітку тенденцію до зниження, при збільшенні кількості населення. Так, у період з 2007 по 2011 рік кількість населення ЄС-27 збільшилась на 1,2% (або на 6 млн. осіб), а загальна кількість утворених ТПВ зменшилась при цьому на 3,5% (або на 9 млн. тонн) (рис. 9.2).

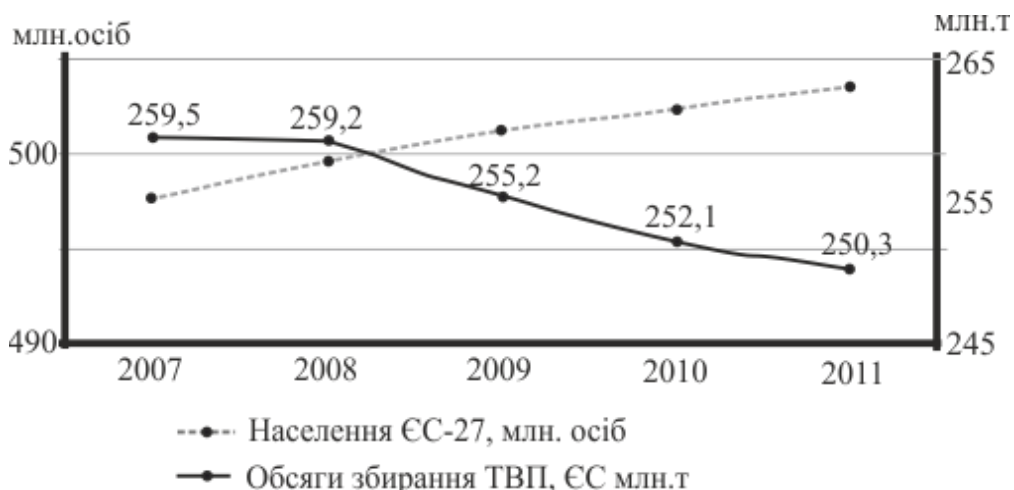


Рис. 9.2 – Обсяги утворення ТПВ

Обсяг утворення ТПВ в Україні збільшується при тому, що кількість населення зменшується – у період з 2007 по 2011 роки кількість населення зменшилась на 1,6% (або 739 тис. осіб), а загальні обсяги збирання ТПВ зросли на 12%. При цьому, за офіційною статистикою, обсяги утворення ТПВ зменшувались у 2007...2009 роках (рис. 9.3).

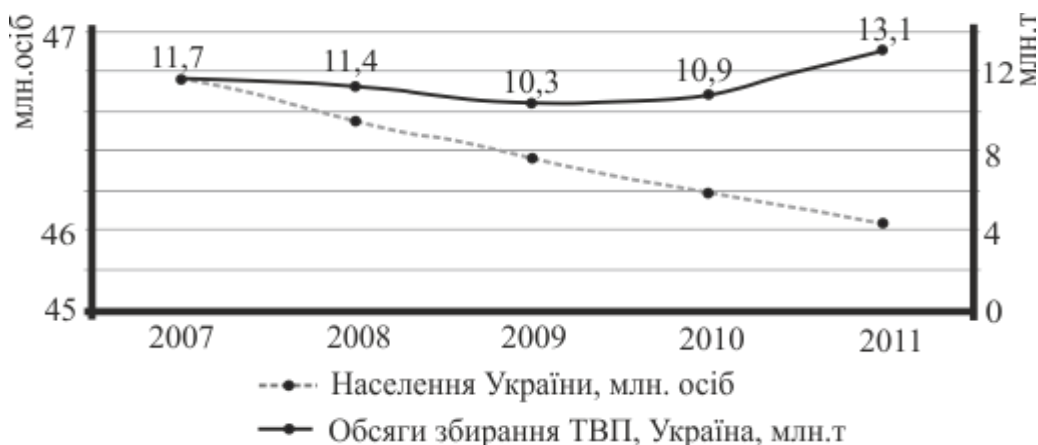


Рис. 9.3 – Обсяги збирання ТПВ

Середній обсяг утворення ТПВ на одну особу за 2007...2011 роки склав близько 510 кг для країн ЄС-27, та 250 кг для України. У порівнянні з 2007 роком, у 2011 даний показник зменшився на 5% у ЄС-27, і зріс на 14% в Україні (рис. 9.4).

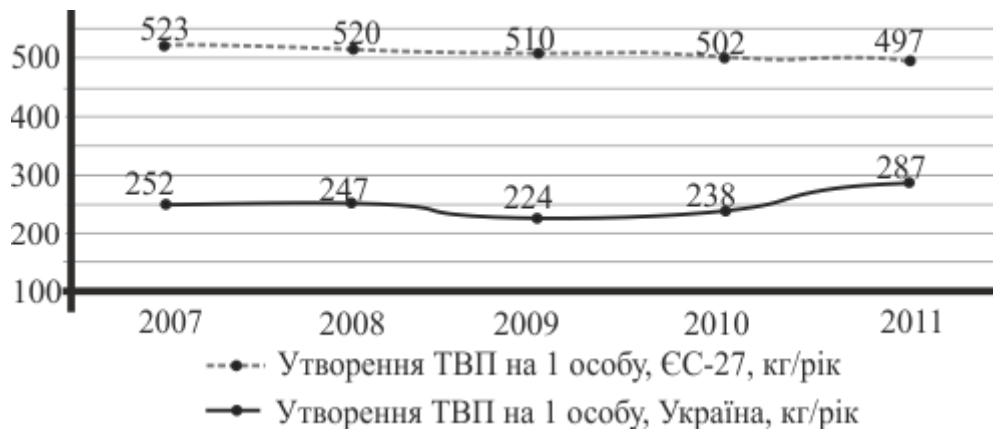


Рис. 9.4 – Середній обсяг утворення ТПВ на одну особу

За прогнозами Інституту економіки природокористування та сталого розвитку НАН України, норма утворення ТПВ на одиницю населення до 2020 року має зрости до 347 кг/рік, а у 2030 році – до рівня 395 кг/рік.

Дуже чітко простежується динаміка утворення ТПВ в ЄС-27 в залежності від індустріального розвитку країни, густоти населення та рівня його життя. Промислово розвинутий та більш багатий захід Європи генерує значно більше побутових відходів, ніж країни сходу. За останніми даними Євростату, порівнювана з Україною за кількістю населення Іспанія генерує 535 кг ТПВ/особу (Україна – 287 кг/ос). Територіальні сусіди України, – Польща та Румунія, генерують 315 кг/ос та 365 кг/ос відповідно (рис. 9.5).

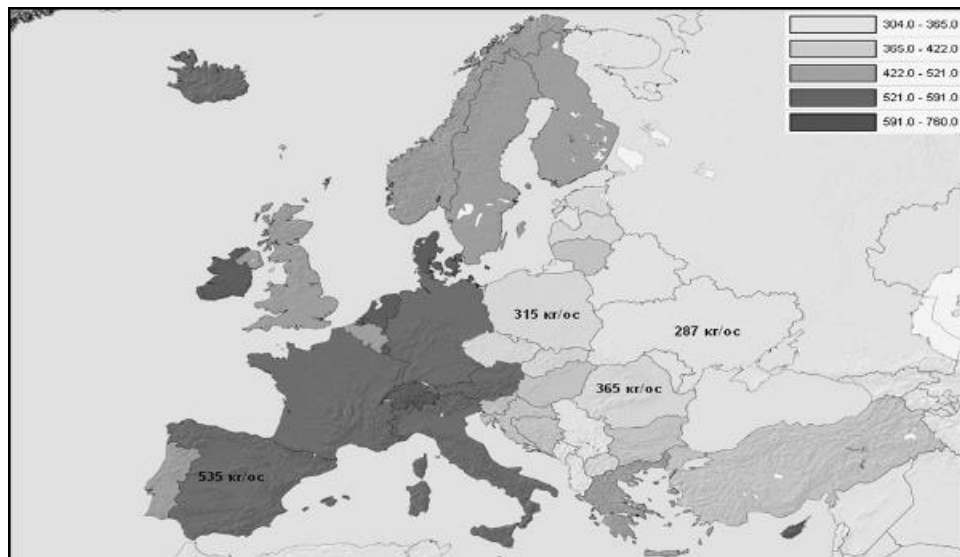


Рис. 9.5 – Динаміка утворення ТПВ

В Україні ж найбільшу кількість ТПВ генерують густонаселені регіони сходу та півдня, а також м. Київ. При цьому, послугами з вивезення ТПВ охоплено лише 3/4 населення країни.

Зауважимо, що офіційні статистичні дані Мінрегіону є значною мірою приблизними. В зв'язку з тим, що в Україні практично відсутня практика

зважування твердих побутових відходів, зазвичай облік ведеться у одиницях об'єму (кубічних метрах). Перерахунок у одиниці маси (тони) здійснюється виходячи з густини ТПВ, яка складає біля 0,2...0,3 т/м<sup>3</sup>.

У статистичній звітності подекуди зустрічаються числові невідповідності, коли наприклад обсяг перевезених чи захоронених ТПВ у певному регіоні дещо перевищує обсяг утворених. Скоріше за все це пов'язано з надходженням даних з різних джерел – від ЖЕКів, перевізників, полігонів та інших учасників. Незначні похибки у локальних підрахунках кожного з підприємств призводять до подібних невідповідностей у масштабах регіону. Також це може бути спричинено віднесенням до ТПВ інших видів відходів, наприклад захороненням на полігонах ТПВ відходів промисловості.

За інформацією Мінрегіону, до 40% обсягу побутових відходів складаються з ресурсів, які можуть бути повернені у господарський обіг. Основну частину ТПВ займають харчові відходи, папір та упаковки, пластикові пляшки та поліетиленові вироби.

У найбільш розвинених країнах використання вторинних ресурсів вважається прибутковим бізнесом – з різних типів відходів роблять добрива, будівельні матеріали, біопаливо тощо. Наприклад, паперові відходи складають значну частку ТПВ. Однак, потрапивши на смітник, вони псуються і переробці не підлягають. При цьому, сучасні технології дозволяють перетворювати макулатуру на тканину, газетний папір, технічний і покрівельний картон тощо.

Полімерних відходів (наприклад пляшок), за деякими оцінками, на смітниках по всій країні зібралося більше 300 тис. тонн, хоча їх також можна переробляти. Проблемним вважається збір даної сировини, оскільки за неї відносно небагато платять. Однак продукти її переробки (гранули) затребувані за кордоном. З гранул роблять нові пляшки та іншу тару, сантехнічні труби, тканини, одяг, іграшки та ін.

*Тверді відходи: визначення і класифікація.*

Компоненти сировини, які не використовуються при виробництві продукції, або речовини і енергія, які виникають під час технологічних процесів, і не піддаються утилізації на даному виробництві, називаються відходи.

Тверді побутові відходи (ТПВ) – це непридатні для подальшого використання харчові продукти і предмети побуту.

Вторинні матеріальні ресурси (ВМР) – сукупність всіх видів відходів, які можуть бути використані як основна чи допоміжна сировина для випуску нової продукції.

Реальні ВМР – це ті ресурси для яких створені ефективні методи і технологічні схеми для переробки.

Потенціальні ВМР – ті ресурси, що не відносяться до реальних.

За походженням відходи поділяють на такі групи:

1) побутові – тверді відходи, які не утилізуються в побуті (предмети побуту і харчові продукти не придатні для використання);

2) промислові – залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, які утворюються при виробництві продукції;

3) сільськогосподарські – відходи сільськогосподарського виробництва;

4) будівельні – відходи, які утворюються при будівництві і виробництві будівельних матеріалів;

5) радіоактивні – радіоактивні речовини і матеріали, які утворюються при роботі ядерних реакторів, при виробництві і застосуванні радіоактивних ізотопів;

6) відходи споживання – вироби, які втратили свої споживчі властивості в результаті зносу.

За токсичністю відходи поділяють на:

1) токсичні – відходи, які можуть викликати отруєння чи інше ураження живих організмів;

2) нетоксичні.

Склад ТПВ залежить від благоустрою міста, пори року, кліматичних та інших умов.

*Морфологічна сполука.* До складу ТПВ входять наступні компоненти: папір, картон – 20...30%, харчові відходи – 28...45%, дерево – 1,5...4%, метал чорний – 1,5...4,5%, метал кольоровий – 0,2...0,3%, текстиль – 4...7%, кістки – 0,5...2%, скло – 3...8%, шкіра, гума, взуття – 1...4%, камені, фаянс – 1...3%, пластмаса – 1,5...5%, кошторисів (<15 мм) – 7...18%, інше – 1...3%.

Процентні співвідношення морфологічної сполуки ТПВ досить умовні, тому що на співвідношення складових впливають ступінь благоустрою житлового фонду, сезони року, кліматичні й інші умови. У складі ТПВ постійно збільшується зміст папера, пластмас, фольги, різного роду банок, поліетиленових плівок і інших упакувань. Особливо великі сезонні коливання харчових відходів – з 28% весною до 45% більш влітку і восени.

До складу харчових відходів входять картопляні очистки, відходи овочів, фруктів, хліба і хлібопродуктів, м'ясні і рибні відходи, ячна шкарлупа тощо. Вони містять крохмаль, жири, білки, вуглеводи, клітковину, вітаміни. Вологість харчових відходів коливається від 60...70% навесні до 80...85% влітку і восени. Вологість харчових відходів ресторанів, столових і інших підприємств харчування досягає 95%. Баластові домішки харчових відходів представлені кістка, боєм скла і фаянсу, металевими кришками і банками.

З метою схоронності і можливості використання харчових відходів їх варто зберігати влітку при  $t > 6...7^{\circ}\text{C}$  не більш 10 год, узимку при тій же температурі до 30 годин.

Ємності для збереження харчових відходів необхідно мити 2% розчином кальцинованої соди або розчином хлорного вапна, що містить 2% активного хлору, і потім полоскати чистою водою.

Орієнтовний морфологічний склад ТПВ для різних регіонів України наведено на рис. 9.6.

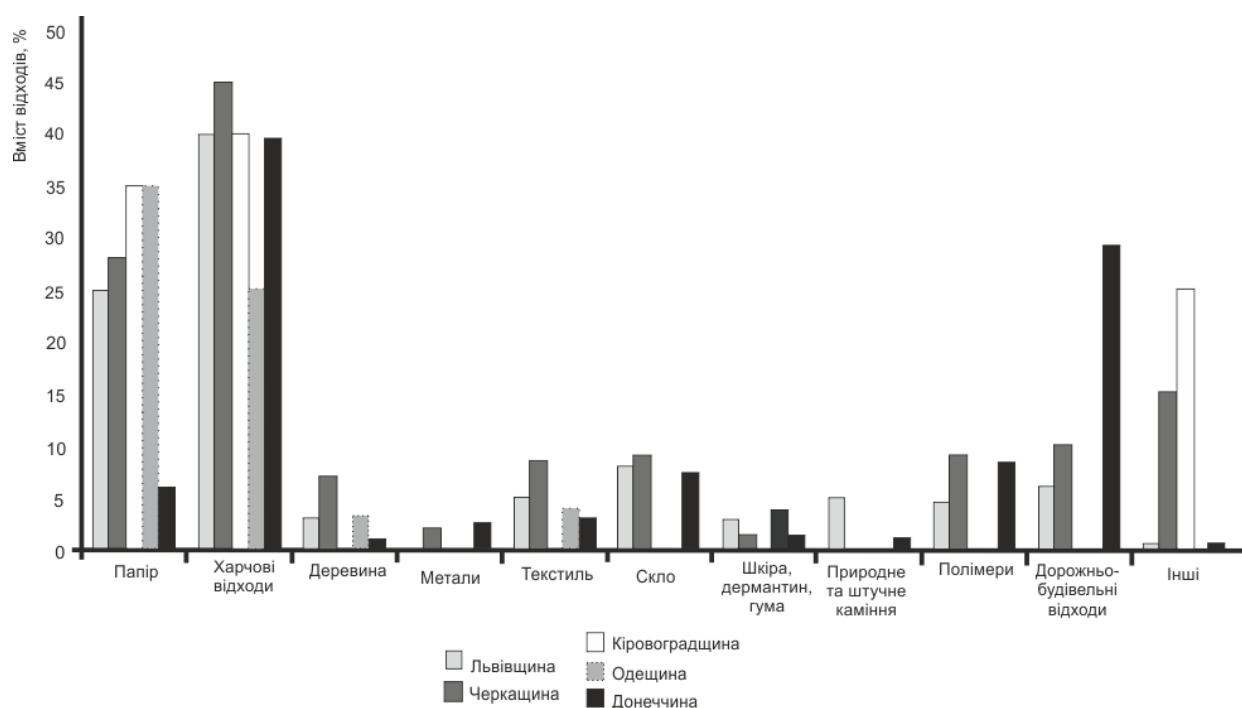


Рис. 9.6 – Морфологічний склад полігонів ТПВ різних регіонів України

*Фракційна сполука.* Основна маса ТПВ представлена фракціями до 150 мм (80...90%) і тільки менш 2% (баластові домішки) представлені фракціями більш 350 мм.

*Хімічний склад.* Усереднені дані хімічного складу ТПВ по кліматичних зонах наведені в табл. 9.1. Україна відноситься до середньої кліматичної зони, за винятком Південного берега Криму, що відноситься до південної. Як видно з результатів, наведених у цій таблиці, по змісту таких елементів, як азот, фосфор, калій і кальцій, ТПВ можуть бути віднесені до речовин, з яких можна одержувати цінні добрива.

Таблиця 9.1 – Хімічний склад ТПВ в різних кліматичних зонах, % від сухої маси

Показники	Кліматична зона:	
	середня	південна
Органічна речовина	56 – 72	56 – 80
Зольність	28 – 44	20 – 44
Загальний азот	0,9 – 1,9	1,2 – 2,7
Кальцій	2 – 3	4 – 5,7
Вуглець	30 – 35	28 – 39
Фосфор	0,5 – 0,8	0,5 – 0,8
Загальний калій	0,5 – 1	0,5 – 1,1
Вологість (% від загальної маси)	40 – 50	35 – 70



*Фізичні властивості ТПВ:* щільність, зв'язаність і зчеплення.

Щільність ТПВ міст України складає в середньому 0,19...0,23 т/м<sup>3</sup>.

Зв'язаність і зчеплення. Папір і картон, текстиль і пластмасові плівки формують структуру ТПВ і додають їм механічну зв'язаність. Липкі і вологі компоненти забезпечують зчеплення.

Абразивні і корозійні властивості (від лат. abrasio – скобління і corrosio – роз'їдання). Скобління третюх поверхонь відбувається за рахунок баластових фракцій (метал, бій скла, фаянсу, кістки тощо). У зв'язку з цим ТПВ можуть стирати дотичні з ними поверхні. При контакті з металами ТПВ роблять кородуючий вплив, що пов'язано з їх високою вологістю, наявністю у фільтраті розчинів різних солей і кислим середовищем (рН = 5...6,5).

*Теплотехнічні властивості.* Наявність у ТПВ великої кількості органічних речовин обумовлює їхню теплотворну здатність.

Теплотворна здатність ТПВ також залежить від їхньої щільності. Так, при зміні щільності від 0,2 т/м<sup>3</sup> до 0,5 т/м<sup>3</sup> теплотворна здатність ТПВ знижується з 2000 до 940 ккал/кг.

*Санітарно-бактеріологічні властивості.* ТПВ містять велику кількість вологих органічних речовин, що, розкладаючись, виділяють гнильні запахи і фільтрат. При висиханні продукти неповного розкладання утворюють насичену забруднювачами і мікроорганізмами (від 300 до 15 млрд. на 1 м сухої речовини) пил. У результаті відбувається інтенсивне забруднення повітря, ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод. Розповсюдниками патогенних мікроорганізмів є мухи, пацюки, птахи, бездомні собаки і кішки.

*Джерела утворення твердих промислових відходів*

Основна маса твердих промислових відходів утворюється на підприємствах:

- гірничої промисловості (шлаки, відвали та ін.);
- чорної та кольорової металургії (шлаки, шлами, відходи металу, колошниковий пил та ін.);
- металообробна промисловість (металева стружка, браковані вироби, лом, тощо);
- лісової та деревообробної промисловості (лісозаготівельні відходи, відходи деревини при виготовленні меблів, паркету, дверей, вікон та інших дерев'яних виробів, відходи клеїв, формальдегідних смол, лакофарбових матеріалів та ін.);
- енергетики (шлаки, попіл, жухелиця, які утворюються на теплових електростанціях);
- хімічної та суміжних галузей промисловості (фосфогіпс, галіт, недогарок, шлами, шлаки, скло, цементний пил, гума, пластмаси та ін.);
- харчової промисловості (кості, шерсть та ін.);
- легкої промисловості (шматки тканини, шкіри, гуми, пластмаси та ін.);

До твердих промислових відходів належать також:

- осади стічних вод;

- шлами пилу в системах мокрого очищення газів;
- промислове сміття.

*Екологічні аспекти проблеми утворення твердих промислових відходів та шляхи її вирішення*

Проблеми з накопиченням та утилізацією твердих промислових відходів виникають і потребують свого вирішення в кожній цивілізованій країні. Не являється виключенням і Україна.

На сьогоднішній день в нашій державі накопичено 25 млрд. тон твердих промислових відходів. Які займають площу 1600 км<sup>2</sup> або рівну п'ятій частині площі Чернівецької області.

Інвентаризація та статистична звітність за останні 10 років свідчить, що на підприємствах України щороку утворюється 1 млрд. твердих промислових відходів. Із них 100 млн. тон токсичних, а 2,5...3,5 млн. тонн високотоксичних, які за європейськими стандартами відносяться до першого класу небезпеки. Кількість підприємств, на яких віксують токсичні відходи перевищує 2500. Загальний обсяг накопичення токсичних відходів становить 4,5 млрд. тонн, а поточні витрати на їх утримання становлять щорічно більше 25% від вартості виробленої продукції.

За обсягами утворення домінують токсичні відходи, які містять важкі метали (хром, свинець, нікель, кадмій, ртуть). Переважно це відходи підприємств чорної і кольорової металургії, хімічної промисловості, машинобудування (гальванічні виробництва), гірничо-хімічні комбінати та інші.

Окрему групу твердих токсичних відходів становлять непридатні до використання та заборонені до застосування хімічні засоби захисту рослин. За даними офіційної статистики, кількість цих відходів, накопичених в Україні, становить близько 13500 тонн. Вони зосереджені по всій території України, нерідко знаходяться у непристосованих приміщеннях, а подекуди просто неба.

В нашій державі нараховується близько 300 накопичувачів твердих токсичних відходів, які побудовані без належного технічного захисту і стали джерелом екологічної небезпеки регіонального масштабу. Не вистачає обладнаних сховищ для зберігання токсичних відходів і установок для їх знешкодження та регенерації.

В Україні на сьогоднішній день неподолану розриву між прогресуючим накопиченням твердих токсичних відходів і заходами з їх утилізації та знешкодження загрожує поглибленням екологічної кризи.

Ефективне вирішення всього комплексу питань, пов'язаних з ліквідацією чи обмеженням негативного впливу твердих токсичних відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини можливе тільки на основі реалізації законів України «Про відходи» та «Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами». Якими передбачається:

- послідовне скорочення обсягів накопичення твердих токсичних відходів шляхом утилізації, знешкодження та видалення;

- обмежене утворення твердих токсичних відходів шляхом реконструкції виробництва. Впровадження маловідходних технологій та процесів замкнутого циклу;
- очищення забруднених територій від твердих токсичних відходів;
- створення мережі спеціалізованих підприємств з утилізації та видалення твердих токсичних відходів;
- здійснення утилізації та видалення переважної частини непридатних та заборонених до використання хімічних засобів захисту рослин;
- будівництво цілого ряду заводів на базі типових модульних комплексів з утилізації та видаленні твердих промислових відходів;
- знешкодження небезпечних місць розміщення твердих промислових відходів в обсягах, що визначаються економічними та технологічними можливостями;
- розроблення та впровадження технологічних рішень щодо утилізації та знешкодження відходів гальванічних виробництв;
- розроблення базових технологій, проектних рішень та устаткування у сфері поводження з твердими промисловими відходами;
- розроблення та впровадження технологічного обладнання: установки по утилізації відходів лакофарбових матеріалів; установки для термохімічного знешкодження твердих промислових відходів; установки для переробки гальванічних шламів; установки по рекуперації хрому в шкіряному виробництві.

Однак вирішення цих задач знаходиться в стадії виконання, тому ми можемо говорити тільки про стабілізацію сучасних екологічних проблем в Україні.

#### *Раціональне використання сировини та вторинна переробка твердих промислових відходів*

На сучасних вітчизняних підприємствах гірничої та гірничорудної промисловості здійснюється розробка корисних копалин на 5 тис. родовищ. Однак їх добування та використання проводиться не раціонально. Застосування застарілих методів їх видобутку приводить до того, що в надрах Землі залишається 50% солей, 40% кам'яного вугілля, 25% руди металів. Лише третина одержаних корисних копалин використовується за прямим своїм призначенням, а дві третини попадають у відвали та підсіпання. Не дивлячись на те, що потенційно можуть використовуватись в якості сировини або вторинних матеріальних ресурсів у гірничо-хімічній промисловості для одержання цінних матеріалів, в будівництві для одержання штучних гальки і щебеню з подальшим їх використанням як наповнювача бетонних сумішей, в будівництві брукованих доріг, для підсіпання залізничних насипів, для одержання керамічних виробів і т.д..

Більш повного використання сировинно-матеріальних ресурсів добиваються в гірничо-хімічній промисловості. Прикладами можуть служити електрохімічні виробництва, комплексне використання апатита-нефілінової породи, та хімічна переробка вугілля, нафти, сланців, торфу та деревини.

Якщо раніше при коксуванні вугілля єдиним продуктом був кокс, то на сучасних коксохімічних підприємствах крім коксу одержують ароматичні вуглеводні, аміак, водень, метали та інші органічні речовини. Їх кількість становить понад 300 видів органічних сполук. Значне зменшення кількості відходів в даному виробництві знизило антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище.

На підприємствах кольорової металургії для зниження кількості відходів використовують метод комбінування, сутність якого полягає в поєднанні основного виробництва з підприємствами сірчанокислотної промисловості, які переробляють флотаційний колчедан (хвости флотації поліметалевих сульфідних руд) та пічні вихідні гази, що містять діоксид сірки.

Великий обсяг твердих відходів утворюється і на підприємствах чорної металургії. Так, при виплавленні однієї тонни сталі утворюється 650...700 кг твердих відходів-шлаків, шламів та відходів металу. Шлаки та шлами використовуються у будівельній індустрії для виробництва будівельних матеріалів, а відходи металу направляються на повторну переплавку. Тому на сьогоднішній день потребує вирішення проблема бережливого та раціонального використання металу та виробів із нього.

Раціональне використання металу необхідно здійснювати на підприємствах металообробної промисловості, добиваючись зниження металоємкості виробів, розумного використання металопрокату, зменшення випуску бракованих виробів, здійснення всіх мір по його максимальному використанню, дбайливого ставлення до відходів металу. Згідно державних стандартів відходи металу діляться на лом та відходи.

Ломом металів називаються зношені деталі та ті, що вийшли з вжитку, а також вироби з металу і сплавів.

Відходи металів називаються промислові відходи всіх стадій переробки металу або сплаву від його виплавляння до механічної обробки, які становлять 80...85% відходів металообробних заводів.

Відходами лісової галузі являється деревина, яка не може бути використана в деревообробній промисловості та в будівництві. Використовують її, як екологічно чисте паливо.

Відходи деревообробної промисловості використовують для виготовлення товарів широкого вжитку та культурно побутового призначення, ДВП та ДСП, карболітових та каролітових плит.

Відходи шлаку та золи, які утворюються в процесі експлуатації ТЕС, запаси яких оцінюються в десятки мільйонів тонн, використовують як сировину для виробництва будівельних матеріалів.

Тверді відходи хімічної та суміжних з нею галузей промисловості складають щорічно більше 500 млн. тонн. Близько 120 видів із них включно до вторинних матеріальних ресурсів.

Зупинимось на характеристиці найбільш важливих відходів хімічної промисловості та їх використання.

При отриманні сірчаної кислоти з колчедану залишається твердий відхід – піритний недогарок. На кожен тонну сірчаної кислоти утворюється близько 0,6 тонни недогарку, що містить близько 58% заліза, до 3% міді, сульфату кальцію, невеликих кількостей срібла, золота і деяких інших цінних компонентів. Піритні недогарки з успіхом використовуються у виробництві цементу, скла, кераміки та в будівельній індустрії для одержання штучних гальки та щебеню, для регенерації металів.

Одним з можливих шляхів переробки недогарка є хлорне випалення.

При отриманні фосфорної кислоти утворюється фосфогіпс. Фосфогіпс використовують для отримання сірчаної кислоти і цементу, для обробки засолених ґрунтів, для виробництва будівельних матеріалів. Переробка фосфогіпса на вказану продукцію вимагає значних матеріальних затрат на створення і експлуатацію відповідних виробництв, проте витрати в цьому випадку менші, ніж витрати на отримання тієї ж продукції з традиційної сировини, а також зберігання і транспортування фосфогіпсу.

Враховуючи масштаби відходів фосфогіпсу, що утворюються, раціональне використання його має величезне народногосподарське значення.

При отриманні концентратів фосфорної сировини утворюється значна кількість хвостів збагачення (1,7...2 т на 1 т готової продукції). Утилізація цих відходів є частиною проблеми комплексного використання сировини. Так, наприклад, з апатитової руди можна виділити нефеліновий, титаномангнієвих та інші концентрати, які служать сировиною для отримання кольорових і рідкісних металів.

Вельми важливе значення мають переробка галітових відходів, що утворюються на збагачувальних фабриках калійних комбінатів (1,8...2,6 т на 1 т хлориду калія). Складування цих відходів вимагає відчуження великих сільськогосподарських угідь, створюючи загрозу їх засолення, підвищення ступеня мінералізації підземних вод на прилеглий території. В той же час галітові відходи можна успішно застосувати для отримання хлориду натрію (харчової, технічної та кормової солі).

Собівартість цієї солі буде значно вище за звичайну. Тому до цих пір не наладжується її виробництво, а здійснюють поховання цих відходів у вироблених шурфах копалень.

Велика кількість відходів утворюється в содовій промисловості у вигляді так званої дистилярної рідини (на 1 т готової продукції близько 8 т відходів). Основними компонентами відходів содового виробництва є хлориди натрію і кальцію. Розроблено декілька варіантів утилізації дистилярної рідини з отриманням хлоридів кальцію і натрію, вапняної муки, товарного і будівельного вапна та інших матеріалів.

Цим переліком далеко не вичерпуються відходи хімічної промисловості. Не названі відходи азотної промисловості, виробництв органічного синтезу та ін. В даний час всі ці відходи все більше і більше використовуються як сировина для отримання нових продуктів. Але все ще

значна частина твердих відходів хімічної промисловості не використовується на сьогоднішній день.

До твердих промислових відходів відносять і промислове сміття, щорічні обсяги накопичення якого у масштабах нашої держави досягають десятки мільйонів тонн. Поділ його на компоненти виявився економічно недоцільним. Тому на сучасному етапі розвитку вітчизняної промисловості використовують дві системи його обробки:

- переробка;
- утилізація за допомогою високотемпературного піролізного реактора.

Так, у Запоріжжі розроблена і з успіхом використовується система переробки промислового сміття в будівельні матеріали та в комбіновані добрива.

#### *Знешкодження та захоронення твердих промислових відходів*

Всі тверді промислові відходи в залежності від їх впливу на ґрунти, підземні ґрунтові води, атмосферу та здоров'я людини поділяють на чотири класи токсичності:

- I – надзвичайно небезпечні;
- II – високо небезпечні;
- III – помірно небезпечні;
- IV – мало небезпечні.

До I класу токсичності відносяться надзвичайно небезпечні тверді промислові відходи :

- малорадіоактивні;
- ртуть та її сполуки;
- миш'як та його сполуки ;
- ціаніди;
- та інші надзвичайно отруйні речовини.

До II групи токсичності відносять високо небезпечні тверді промислові відходи :

- важкі метали та їх солі;
- хром та його солі ;
- кадмій та його солі ;
- свинець та його солі;
- відходи гальванічних виробництв;
- осад стічних вод промислових підприємств;
- шлам пилу із систем мокрого очищення газів.

До III групи токсичності відносять помірно – небезпечні тверді промислові відходи (які утворюються на підприємствах хімічної промисловості і не відносяться до перших двох груп токсичності )

- сода та дистильована рідина ;
- розчини солей;
- пластмаси та інші.

До IV групи токсичності відносять мало небезпечні тверді промислові відходи :

- деревина;
- зола;
- шлами;
- продукти збагачення мінеральної сировини .

В залежності від класу токсичності тверді промислові відходи знешкоджують та проводять їх захоронення.

Основними методами знешкодження та захоронення твердих промислових відходів являються:

1. біологічне окислення ;
2. термічна обробка;
3. складування у поверхневих сховищах;
4. захоронення високотоксичних речовин та їх сполук в поверхневих шарах землі .

Біологічне окислення використовують для знешкодження та стабілізації осадів стічних вод на очисних спорудах. В результаті його застосування утворюється біогаз та органічні добрива. Біогаз використовують для одержання тепла та електроенергії, а органічні добрива в сільському господарстві .

В останній час все більше застосування для знешкодження та утилізації твердих промислових відходів знаходять термічні методи їх обробки на сміттєспалювальних заводах та полігонах. Незалежно від конструкції застосованих печей спалювання вони повинні забезпечувати:

1. гарне перемішування відходів в процесі горіння для забезпечення більш повного їх згорання;
2. збереження і підтримка достатньо високих температур, що забезпечить повне знешкодження токсичних компонентів.

Спалювання помірно та мало небезпечних твердих промислових відходів можна здійснювати в печах різної конструкції (камерні, барабанні, із зваженим шаром та інші), але в кожній із них повинні існувати наступні температурні зони:

- Підсушування ( до 250°C )
- Підготовка відходів до спалювання ( 250...600°C)
- Запалення (600°C)
- Горіння (600...900°C)
- Допалювання ( 1100°C)
- Випалювання ( 1100...1600°C)
- Перспективними напрямками термічної обробки твердих промислових відходів є:
- Низькотемпературний піроліз;
- Високотемпературний піроліз.

Піролізні продукти з успіхом використовуються в якості сировини для виробництв органічного синтезу або палива.

Процес низькотемпературного піролізу проходить за температур від 300 до 900°C в стаціонарних вертикальних циліндричних печах (ретортах). В

якості теплоносія використовуються рідкі продукти розкладання твердих горючих матеріалів, розплави солей та інші матеріали. Використовують також нагрівання за допомогою електричної дуги та струму високої частоти.

Склад газоподібних продуктів процесу можна змінювати в широких межах залежно від складу твердих промислових відходів, температури і кількості кисню в реакційній зоні. Часто для попередження утворення вуглецю в реакційну зону вводиться водяний пар. Твердий залишок низькотемпературного піролізу використовують як наповнювач при виробництві гумотехнічних та пластмасових виробів або як сорбент.

Високотемпературний піроліз використовують для утилізації лаків, фарб, клеїв, пластмас та інших відходів, до складу яких входить хлор та його сполуки для запобігання утворення діоксину. В результаті цього процесу одержуємо: горючий газ, пірокарбон і рідку смолу.

Горючий газ використовують як альтернативне джерело теплової енергії, полікарбон – як сировину для виробництва різних полімерних матеріалів.

Одним з основних способів захоронення великотоннажних твердих відходів є їх складування в поверхневих сховищах.

Для їх створення потрібно:

- виділення землі органами місцевого самоврядування;
- проведення геолого-екологічної експертизи виділеної ділянки;
- походження на її розміщення з екологічною інспекцією та державним санітарним наглядом;
- віддалення її від населених пунктів та відкритих водоймищ;
- незатопленістю її території паводковими водами;
- низьким рівнем ґрунтових вод;
- наявності водотривкого глинистого шару;
- проектна документація на її будівництво;
- будівництво та експлуатація сховища відповідно до екологічних та санітарних вимог.

В них зберігають піритний недогарок, фосфогіпс, галітові відходи, дистильовану рідину та інші відходи.

Як правило, складовані у поверхневих сховищах відходи не відносять до категорії токсичних, але у разі неправильного їх зберігання та при наявності недоліків в конструкції можуть привести до значного забруднення ґрунту та водоймищ.

Основними типами поверхневих сховищ являється шламонакопичувачі та шламсховища.

Шламонакопичувачі – це відкриті земельні ємності, які розташовані поза територією заводів і призначені для накопичення проектною кількістю шламів. Шлам подається трубопровідним транспортом або підвозяться автомашинами.

Вони можуть бути в залежності від місця утворення наступних типів: балково-ярового і насипні.



Після заповнення шламонакопичувача його консервують шляхом засипання піском (товщина шару 0,6 м) та ґрунтом (товщина шару 0,5) та передаються для використання у сільському господарстві.

Шламосховища – це відкриті земельні ємності, які розташовані поза територією підприємств і призначені для накопичення шламів, які подаються трубопровідним транспортом.

За конструкцією вони бувають насипного типу. Їх розміщують на спеціально спланованих майданчиках і обгороджують валами трапецієподібної форми. Їх висота залежить від виду, властивостей та кількості осаду. Найчастіше вали роблять із ґрунту, взятого із чаші шламосховища, що дозволяє збільшити його об'єм.

Кожне шламосховище повинно мати дренажні пристрої, що збільшують міцність греблі та покращують процес зневоднення шламів. Він дозволяє також відводити забруднені стоки з сховища для знешкодження або повторного використання.

При похованні високотоксичних твердих відходів в поверхневі шари землі (шурфи, печери, свердловини і т.д.) їх заделегіть стабілізують розчинами рідкого скла, бетону, бітуму. Отримані блоки поміщають у поверхневі шари землі. Цей спосіб використовується для захоронення малорадіоактивних відходів, ртуті та її солей, миш'яку, ціанідів, арсенідів, солей важких металів, гальванічних шламів та інших відходів, які відносяться до I і II групи небезпеки.

На сьогоднішній день ТПВ представляють собою суміш, яка складається з різноманітного непотребу. Але більш прискіпливий аналіз показує, що вона складається з харчових відходів, паперу, картону, деревини, металобрухту чорних і кольорових металів, кісток, шкіри, гуми, текстилю, скла, полімерних матеріалів. Але разом з тим, в цій суміші можна знайти солі ртуті з батарей, фосфоро-карбонати з флюорисцентних ламп, токсичні хімікати, які містяться в залишках фарб та розчинників, лаків та аерозолів, акумуляторах і т.п.

Його кількість залежить від: пори року, побутових та харчових потреб людини, розвитку економіки товарів народного вжитку, тари та інших чинників.

Так, осінню кількість твердих побутових відходів зростає за рахунок опалого листя з дерев та відходів фруктів та овочів.

Зростанню кількості ТПВ сприяють товари одноразового використання; товари народного споживання з короткочасним терміном служби людині, які ми купуємо, споживаємо та викидаємо не дивлячись на їх залишкову вартість.

Сприяє росту потоку сміття і тара, яка до тогож видозмінює його. Так за останні п'ятдесят років в твердих побутових відходах зменшилась кількість скла та жерстяних банок, в той же час значно зросла кількість пластику та інших полімерних матеріалів. На сучасному етапі розвитку суспільства кожна людина за даними статистики в середньому за одну добу

створює від 2 до 3 кг твердих побутових відходів і мають тенденцію до постійного зростання, що змушує муніципальну владу всіх міст постійно шукати оптимальні шляхи утилізації відходів своїх громадян.

Найкращим із них являється шлях по елементного збирання відходів, який дає змогу оптимально вирішувати проблему їх утилізації та всебічного використання вторинних ресурсів сировини та матеріалів.

Другим шляхом утилізації ТПВ, являється їх вивіз до санітарних зон, де вони сортуються для одержання вторинної сировини і спалюють в спеціальних печах для отримання енергії.

Третім шляхом утилізації твердих побутових відходів являється їх захоронення на спеціальних сміттєзвалищах або полігонах.

Четвертим шляхом утилізації ТПВ являється його зберігання на відкритих площадках, яке приводить до розмноження гризунів та забруднення атмосфери, підземних і поверхневих вод.

*Основні етапи та технології по утилізації твердих побутових відходів.*

Комплексна система управління твердими побутовими відходами передбачає слідкуючу схему розв'язання проблеми з їх утилізацією.

1. роздільний збір небезпечних компонентів твердих побутових відходів;
2. скорочення відходів;
3. вторинна переробка відходів;
4. спалювання відходів;
5. захоронення твердих побутових відходів.

Виконуючи вимоги Законів України «Про відходи» та «Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами» в нашій державі з 2001 року організовано роботу по прийманню особливо небезпечних високотоксичних компонентів твердих відходів: акумуляторів та батарейок; люмінесцентних ламп. Але їх мережа ще недостатньо розвинута.

Під скороченням відходів ми розуміємо не тільки зменшення їх загальної кількості, але й зменшення їх токсичності та інших шкідливих властивостей.

Суттєвого скорочення твердих побутових відходів на сучасному етапі можна досягти виконуючи триєдину задачу:

1. Видалення з твердих побутових відходів небезпечних токсичних компонентів (акумулятори, батарейки, люмінесцентних ламп) через відокремлене їх збирання.
2. Видалення з твердих побутових відходів через відокремлене збирання відходів будівництва та будівельного сміття.
3. Скороченням відходів паперу та пластику, які є домінуючими компонентами в твердих побутових відходах, складаючи 40...45 % від їх кількості. Для цього необхідно:

- зменшити вагу та об'єм паперової та пластикової упаковки товару;

- використовувати оптимально необхідну кількість матеріалів на упаковку товару;
- використовувати тару багаторазового використання або таку, яку легко переробити;
- віддавати перевагу упаковці, для виготовлення якої використовували екологічно чисті матеріали.

Згідно постанови Кабінету Міністрів України №668 «Про програму використання відходів виробництва і споживання» здійснюємо вторинну переробку твердих побутових відходів, яка передбачає виконання наступних задач:

1. Відбір компонентів, які можна використати в якості вторинного матеріального ресурсу.
2. Відбір органічних компонентів твердих побутових відходів (залишки харчових продуктів, очисток овочів та фруктів, тощо) для компостування.
3. Відбір залишків лаків, фарб, клеїв, пластмас, пластику та інших продуктів органічного синтезу для високотемпературного піролізного спалювання.
4. Відбір відходів, які не піддаються спалюванню.

Значна кількість компонентів твердих побутових відходів з успіхом переробляється в корисні матеріали та товари.

Скло переробляють шляхом подрібнення та переплавлення. Якщо скляний бій одного кольору та задовільної якості то його використовують як вторинний матеріальний ресурс для виготовлення виробів з скла. Якщо він не одного кольору та низької якості, то його використовують як наповнювач при виготовленні будівельних матеріалів. В багатьох містах існують підприємства по відмиванню і повторному використанню скляного посуду.

Сталеві та алюмінієві банки видаляють з твердих побутових відходів і переробляють з метою одержання відповідного металу.

Папір та паперові відходи видаляють з відходів і використовують як вторинний матеріальний ресурс у виробництві паперу.

Відходи будівництва та будівельне сміття використовують як вторинний матеріальний ресурс для одержання щебеню та піщано-гравійної маси.

Харчові відходи, очистки овочів та фруктів, листя та інші органічні відходи використовують для компостування або біотехнологічної переробки.

Компостування здійснюють на відкритому повітрі з утворенням компостних куп різного розміру та доступу кисню повітря до них за допомогою періодичного їх перекидання або застосування спеціальної аерації. В результаті одержують компост через 2 тижні або три роки в залежності від застосованої технології компостування.

Більш перспективною технологією переробки твердих побутових відходів являється компостування без доступу кисню повітря. Для цього бетонні ємкості або колодязі заповнюють відходами харчування, очистками овочів і фруктів, гноєм, листям, тирсою тощо, щільно закривають їх, щоб не

було доступу повітря. Через певний період починається бродіння суміші внаслідок життєдіяльності метанобактерій і виділення ними біогазу (суміші метану та чадного газу) який використовують як вторинний енергетичний ресурс. Після закінчення процесу бродіння отримуємо компост-знежарений, без запаху, цінніший за гній. Його використовують як високо ефективне органічне добриво.

Наступним етапом вторинної переробки твердих побутових відходів являється відбір залишків лаків, фарб, клеїв, пластмас, пластику, лінолієму та інших продуктів органічного синтезу до складу яких входить або може входити хлор, спалювання яких не допускається при температурі 600...900°C, так як утворюються діоксини. Існує 75 видів діоксинів. Всі вони токсичні. Добове надходження їх в організм людини одної мільярдної грама підвищує ризик онкологічних захворювань. А при спалюванні 1 кг полівінілхлориду, з якого виготовляють багато видів лінолеумів, шпалер, пластикових віконних рам та бутилок, утворюється до 50 кг діоксину. Цієї кількості досить для інтенсивного розвитку онкологічних пухлин у 50000 лабораторних тварин.

Тому потрібно хлормісткі побутові відходи спалювати при температурі більше 1200 °C, щоб не допустити утворення діоксинів.

Заключним етапом вторинної переробки твердих побутових відходів являється видалення із них компонентів, які не піддаються горінню. В більшості випадків цими компонентами являється будівельне сміття, яке використовують для виготовлення щебеню та пісчано-гравійної маси (суміші).

Спалювання твердих побутових відходів використовують для зменшення їх обсягів та для одержання тепла і електроенергії.

У світовій та вітчизняній практиці використовують чотири методи термічного знешкодження та утилізації твердих побутових відходів:

1. шарове спалювання непідготовлених твердих побутових відходів у топках сміттєспалювальних котлів;
2. шарове або камерне спалювання підготовлених твердих побутових відходів (звільнених від баластових складових) у топках енергетичних котлів;
3. низькотемпературний піроліз твердих побутових відходів з їх підготовкою або без неї;
4. високотемпературний піроліз твердих побутових відходів з їх підготовкою або без неї.

Кожний із них, в тій чи іншій мірі зменшує об'єм перероблених відходів: від 2 % при високотемпературному піролізі до 30 % при шаровому спалюванні непідготовлених відходів.

Слід зазначити, що сучасні сміттєспалювальні установки забезпечені системою газової очистки та електрогенератором. Вони використовуються в комплексі з іншими методами утилізації твердих побутових відходів або у випадку їх великого потоку.

Захоронення твердих побутових відходів використовуються як міра їх утилізації в наступних випадках:

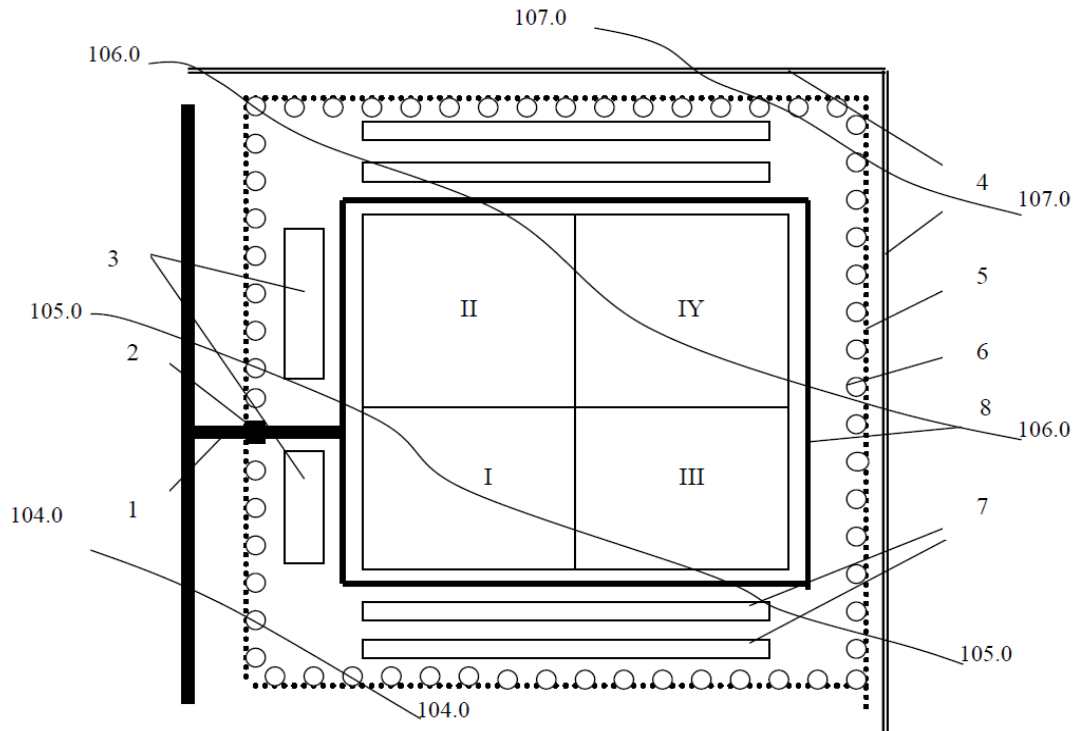
1. високо токсичності матеріалів;
2. негорючості компонентів відходів та не можливість їх переробки в будівельні матеріали;
3. залишки горючих компонентів відходів;
4. всі побутові відходи у випадку відсутності установки для їх спалювання.

Захоронення здійснюється на санітарних полігонах, які відповідають екологічним вимогам та санітарно-епідеміологічним нормам і являють собою сучасну складну інженерну споруду, обладнану системами боротьби із забрудненнями ґрунту, води, повітря.

Полігони – це природоохоронні споруди, призначені для складування ТПВ. Вони забезпечують захист від забруднення атмосфери, ґрунтів, підземних і поверхневих вод, перешкоджають розповсюдженню патогенних мікроорганізмів за межі майданчика складування і забезпечують знезараження ТПВ біологічним способом. На полігонах можлива утилізація органічної складової ТПВ шляхом уловлювання біогазу.

Термін служби полігона повинен бути не менше 15–20 років.

Розміщувати полігони необхідно з урахуванням вимог санітарних норм, з віддаленням від найближчої житлової забудови на відстань не менше 500 м. До полігона повинна бути підведена дорога з твердим покриттям. По всьому периметру майданчика, відведеного для полігона, повинна бути облаштована захисна лісосмуга завширшки не менше 20 м. Рівень ґрунтових вод під днищем полігона повинен знаходитися на глибині більше 2 м. На майданчику полігона не повинні знаходитися виходи водних джерел. Категорично забороняється використовувати під полігони акваторії річок, озер, стариць і боліт. Загальний вид полігона представлений на рис. 4.7.



( I– IV) – черги експлуатації полігона.  
 1 – під'їзна дорога; 2 – в'їзд на полігон з пунктом радіометричного контролю; 3 – адміністративно-господарська зона; 4 – нагріний канал;  
 5 – огороження полігона; 6 – лісосмуга; 7 – кавальєри мінерального та родючого ґрунту; 8 – внутрішньогосподарська дорога

Рис. 9.7 – Загальний вид полігона

Захист від забруднення ґрунтів і ґрунтових вод здійснюється шляхом установки спеціального протифільтраційного екрану, укладеного по всьому дню і бортам полігона, системи перехоплення, відведення і очищення фільтрату, а також системи наглядових свердловин для контролю якості ґрунтових вод.

Захист від забруднення ґрунтів і повітряного басейну здійснюється шляхом щоденного перекриття заповнених робочих карт полігона шарами ґрунту, організації системи збору, відведення й утилізації біогазу, устаткування робочих карт переносними сітками для перехоплення легких фракції (папір, плівки), рекультивації поверхні заповнених ділянок полігона.

До розміщування та функціонування сучасних санітарних полігонів включають наступні вимоги:

- геологічні (не допускається розміщення полігону на тектонічних розломах та сейсмічно небезпечній зоні);
- гідрологічні (віддаленість від відкритих водоймищ, низький рівень ґрунтових вод, незатопленість їх території паводковими водами);
- санітарні (будівництво та експлуатація полігону згідно санітарних правил та вимог);

- екологічні (не допустити розміщення полігону в природоохоронній зоні, екологічна експертиза проекту, експлуатація полігону, функціонування його згідно екологічних норм і правил, зменшення його впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людей, державна реєстрація його як джерела екологічного лиха, план виводу його з експлуатації та рекультивації земель зайнятих під ним, контроль і моніторинг навколишнього природного середовища на полігоні і його санітарній зоні);

- фінансові (надання фінансових гарантій безпечного функціонування полігону, страхування на випадок екологічного лиха).

Санітарні полігони ще тривалий час будуть залишатися основним способом переробки твердих побутових відходів. Альтернативою йому може стати первинна по компонентна утилізація відходів.

*Правила лімітування підприємств щодо утворення та розміщення твердих відходів.*

Відповідно до вимог Конституції України, Законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про відходи», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про поводження з радіоактивними відходами», «про металобрухт», постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження порядку розроблення, затвердження і перегляду лімітів на утворення та розміщення відходів», нормативно-правових актів та державних стандартів України з охорони навколишнього природного середовища, санітарних норм і правил та інших документів суб'єкти господарської діяльності у сфері поводження з твердими відходами повинні виконувати наступні загальнодержавні задачі:

1. Всебічний захист навколишнього природного середовища та здоров'я людей від негативного впливу відходів.

2. Обґрунтоване узгодження економічних та екологічних інтересів суспільства щодо утворення, розміщення, утилізації та захоронення твердих відходів.

3. Здійснення комплексу наукових, технічних, технологій та маркетингових досліджень по виявленню ресурсної цінності твердих відходів.

4. Проводити максимально можливу утилізації твердих відходів шляхом прямого, повторного та альтернативного використання їх ресурсної цінності.

5. Зведення до мінімуму утворення та зберігання твердих відходів та зниження токсичності.

6. Організація роздільного збору небезпечних (високотоксичних) компонентів твердих відходів.

7. Проведення екологічної паспортизації суб'єктів господарської діяльності.

8. Здійснювати науково-технічне обґрунтування лімітів на утворення та розміщення твердих відходів під час виробництва суб'єктами господарської діяльності.

9. Проведення загальнодержавної класифікації та паспортизації твердих відходів.

10. Здійснювати державний облік твердих відходів щодо їх утворення і розміщення через органи статистики.

11. Здійснювати загальнодержавний контроль та моніторинг за місцями та об'єктами утворення та розміщення твердих відходів для запобігання їх шкідливого впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людей.

*Основні напрямки роботи, права та обов'язки суб'єктів господарської діяльності у сфері поводження з твердими відходами.*

Суб'єктами господарської діяльності у сфері поводження з твердими відходами являються: громадяни України, іноземці, особи без громадянства, підприємства, установи та організації всіх форм власності, робота і діяльність яких пов'язана з поводженням з твердими відходами.

Основними напрямками роботи суб'єктів господарської діяльності у сфері поводження з твердими відходами, які обумовлені їх правами та обов'язками, являються:

1. Організовувати екологічну перевірку технологічних процесів, виробничого обладнання та устаткування на предмет утворення твердих відходів.

2. Встановлення джерел забруднення твердими відходами навколишнього природного середовища, їх реєстрація та паспортизація.

3. Проведення детального фізико-хімічного аналізу утворених твердих відходів на основі якого встановлюється їх якісний та кількісний характер.

4. Проведення класифікації та паспортизації утворених твердих відходів.

5. Здійснення розрахунку та науково-технічного обґрунтування проектів лімітів на утворення та зберігання твердих відходів. Їх погодження з державними службами: охорони природи і санітарно-епідеміологічною та затвердження обласною державною адміністрацією.

6. Проведення екологічної паспортизації суб'єкта господарської діяльності.

7. Забезпечення своєчасного і повного збирання твердих відходів.

8. Створення тимчасових місць зберігання твердих відходів, експлуатація яких не впливає на довкілля та здоров'я людей.

9. Організація роздільного збору, зберігання та утилізації небезпечних (високо токсичних) твердих відходів.

10. Здійснення обліку утворення та зберігання твердих відходів. Своєчасна і правдива звітність з даного питання в державну службу статистики.

11. Не допускати зберігання відходів у несанкціонованих місцях.

12. Не допускати змішування твердих відходів.

13. Не допускати знищення та псування твердих відходів, які мають вторинний ресурсний резерв і існує технологія по їх переробці.

14. Не допускати над лімітне утворення твердих відходів.



15. Своєчасно утилізувати тверді відходи згідно заключних договорів та контрактів.

16. Своєчасно в установленому порядку вносити плату за розміщення відходів.

17. Здійснювати контроль за тимчасовими місцями зберігання твердих відходів.

18. Призначити відповідальних осіб у сфері поводження з твердими відходами.

19. Надавати місцевим органам виконавчої влади та місцевого самоврядування інформацію про тверді відходи та пов'язану з ними діяльність.

20. Здійснювати комплекс науково-технічних та маркетингових досліджень для виявлення ресурсної цінності твердих відходів.

21. Сприяти максимально можливій утилізації твердих відходів шляхом прямого, повторного та альтернативного використання ресурсної цінності твердих відходів.

22. Постійно працювати над мінімізацією утворення та зберігання твердих відходів та зниження їх токсичності.

23. Забезпечувати суворе дотримання правил екологічної безпеки при поводженні з твердими відходами.

24. Розробити в разі необхідності й виконувати план практичних дій на випадок виникнення надзвичайної ситуації пов'язаної з поводженням із небезпечними твердими матеріалами.

25. Виконувати інші види робіт у сфері поводження з твердими відходами, які передбачені законодавчими та нормативними документами та в разі виникнення ситуації забруднення навколишнього середовища твердими відходами.

Лімітування підприємств щодо утворення та розміщення твердих відходів здійснюється на основі Законів України «Про відходи», «Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами» та постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження порядку розроблення, затвердження лімітів на утворення та розміщення відходів».

Ліміт на утворення твердих відходів визначається їх власником у процесі діяльності на підставі дозволу на розміщення твердих відходів та договору (контракту) на їх передачу іншому власнику.

Ліміт на утворення твердих відходів розраховується на підставі нормативів утворення для кожного виду відходів за класами їх небезпеки і повинні дорівнювати сумарному обсягу твердих відходів, розміщених на своїй території та переданих іншому власнику. Він не може перевищувати нормативно допустимі обсягу утворення твердих відходів.

Норматив утворення твердих відходів визначається технологічним регламентом на підставі питомих показників утворення відходів.

Звільняється від одержання лімітів на утворення та розміщення твердих відходів:

1. Власники твердих відходів, які отримали ліцензію на збирання і заготівлі окремих видів твердих відходів як вторинної сировини.

2. Власники твердих побутових відходів, якщо вони уклали договори на їх розміщення з підприємствами комунального господарства.

3. Власники твердих відходів, для яких платежі за розміщення твердих відходів усіх класів небезпеки не перевищує 10 гривень на рік.

Власники твердих відходів, які здійснюють їх утворення та розміщення повинні до 1 червня поточного року подати в обласні управління охорони навколишнього природного середовища заяву на одержання дозволу на розміщення відходів в наступному році.

До заяви додаються наступні документи:

1. Проект лімітів на утворення та розміщення твердих відходів.

2. Довідка про наявність спеціально відведених в установленому законодавством порядку тимчасових місць розміщення твердих відходів.

3. Відомості про склад та властивості твердих відходів, що утворюються, їх ступінь небезпечності для навколишнього природного середовища та здоров'я людини.

4. Довідка про нормативно допустимі обсяги утворення твердих відходів.

5. Довідка про типові показники утворення твердих відходів.

6. Довідка про наявність установок з видалення твердих відходів.

7. Довідка про наявність потужностей з утилізації твердих відходів.

8. Копії договорів (контрактів) на передачу твердих відходів іншим власникам.

9. Довідка про обсяги токсичних відходів за минулий рік:

- обсяги утворення;
- використання;
- поставки відходів як вторинної сировини;
- відходи виробництва за поточний рік.

10. Висновки санітарно-епідеміологічної експертизи щодо об'єктів поводження з відходами.

11. Інформацію стосовно розміщення чи накопичення твердих відходів за попередні роки.

12. Наказ про призначення відповідальних осіб у сфері поводження з відходами.

13. Звіт про виконання планових заходів у сфері поводження з твердими відходами за попередній рік.

14. Перспективний план заходів у сфері поводження з твердими відходами, спрямований на запобігання або зменшення обсягів утворення відходів та запобігання їх негативного впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людини.

15. Ліцензія на здійснення операцій у сфері поводження з небезпечними твердими відходами у разі одержання лімітів на їх утворення та розміщення.

16. Дозвіл на експлуатацію об'єкта поводження з небезпечними твердими відходами на відповідній території, виданий органом місцевого самоврядування.

На підставі представлених документів обласне управління з охорони навколишнього природного середовища приймає аргументоване рішення про видачу дозволу на розміщення відходів або відмову в його видачі, вказуючи причини цього рішення, ліквідація яких приводить до видачі дозволу.

На підставі одержаних дозволів власники твердих відходів готують скореговані проекти лімітів на утворення та розміщення твердих відходів, подають їх на погодження до обласного управління охорони навколишнього природного середовища.

Вразі погодження вони передаються державним обласним адміністраціям на затвердження.

Ліміти на утворення та розміщення твердих відходів встановлюються терміном на 1 рік і доводяться власникам відходів до 1 жовтня поточного року.

Дозвіл набирає чинності після затвердження лімітів на утворення та розміщення твердих відходів. Його корегування не допускається.

В той же час, ліміти на утворення та розміщення твердих відходів можуть змінюватися, як в сторону збільшення їх, так в сторону зменшення. Підставами для їх перегляду являється:

- використання у виробництві нових видів сировини та матеріалів;
- випуск нових видів продукції;
- удосконалення технологічних процесів;
- модернізація устаткування;
- укладення нових договорів на передачу відходів іншим власникам;
- корегування плану виробництва.

В разі утворення твердих відходів, що перевищують рівень затверджених лімітів, власник відходів повинен одержати на них окремий дозвіл.

Відповідальність за правильність визначення нормативів утворення твердих відходів, визначення лімітів утворення та розміщення твердих відходів, несвоєчасне їх затвердження несе власник відходів.

Контроль за правильністю визначення лімітів на утворення та розміщення відходів, їх дотримання здійснюють працівники екологічної інспекції.

*Основні принципи та шляхи вирішення проблеми твердих відходів на сучасному етапі.*

Основними принципами державної політики України у сфері вирішення проблем твердих відходів на сучасному етапі є пріоритетний захист навколишнього природного середовища та здоров'я людини від їх негативного впливу, забезпечення ощадливого використання матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів, науково обґрунтоване узгодження

екологічних, економічних та соціальних інтересів щодо утворення та використання твердих відходів.

Основними напрямками вирішення проблеми твердих відходів на сучасному етапі являється:

- розроблення та затвердження загальнодержавної програми по вирішенню проблем твердих відходів;
- запровадження маловідходних та безвідходних технологічних процесів в переробці твердих відходів;
- забезпечення своєчасного збирання та знешкодження твердих відходів;
- дотримування правил екологічної безпеки при їх розміщенні, переробці та знешкодженні;
- зменшення токсичності твердих відходів у виробничих процесах;
- забезпечення комплексного використання твердих відходів;
- стимулювання роздільного збирання компонентів відходів;
- сприяння максимально можливій утилізації твердих відходів;
- постійне розширення переліку твердих відходів, які підлягають вторинному використанню;
- організація контролю та моніторингу за місцями та об'єктами розміщення твердих відходів, запобігання їх шкідливого впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей;
- обов'язковий облік твердих відходів на основі їх класифікації та паспортизації;
- створення загальнодержавної інформаційно-аналітичної системи та банку даних по утворенню, використанню та знешкодженню твердих відходів;
- розробка загальнодержавних нормативних документів, які регламентують та регулюють питання утворення, використання та знешкодження твердих відходів;
- погодження лімітів на утворення та розміщення твердих відходів;
- затвердження загальнодержавних санітарних норм і правил під час утворення, збирання, перевезення, зберігання, оброблення, утилізації, знешкодження та захоронення твердих відходів;
- встановлення санітарно-гігієнічних вимог до продукції яка виготовлена із ресурсів вторинної сировини та видача гігієнічних сертифікатів на неї;
- моніторинг місць утворення, зберігання та видалення твердих відходів;
- заборонення вести будь-яку господарську діяльність з утворенням твердих відходів без затверджених лімітів на їх утворення;
- організація роздільного збору небезпечних (високотоксичних) компонентів твердих відходів.

*Вилучення цінних компонентів ТПВ. Закордонний досвід поводження з відходами.*

У багатьох країнах світу відсутнє попереднє сортування відходів перед їх переробкою чи захороненням, тому вилучення цінних компонентів є важливою задачею з екологічної та економічної точки зору.

Закон про рециклінг прийнятий більш ніж в 50 країнах світу. У 1995 році світова індустрія рециклінга забезпечила зайнятість більше 1 млн. чоловік.

Загальна вартість продукції, отриманої у світі за рахунок рециклінга тільки в 1995 році склала 175 млрд. дол. Ступінь вилучення цінних компонентів може становити від 30% до 80%.

Практично в усіх економічно розвинених країнах на рівні урядів розроблені та діють програми, які включають заходи щодо кваліфікованого обстеження (приймання, обробка) машин, часткового демонтажу шин на переробних підприємствах, повторного застосування знятих деталей, переплавлення машин, поховання відходів, що не переробляються, (в основному пластик, тканина). Зазвичай загальний обсяг матеріалів, що вивозяться у відвали, становить 25...30% від маси автомобіля.

Обіг відходів чітко регламентується нормативно-правовими актами, контролюється державними органами та регулюється економічно: підприємства відповідають за переробку випущеної ними продукції. Необхідні засоби на переробку відходів виділяються державою (за рахунок збору податків) й акумулюються в спеціальних екологічних фондах на місцевому й державному рівні.

Для зниження токсичності відходів усе більше уваги приділяють добуванню небезпечних хімічних матеріалів (наприклад, важких металів, полімерів, що містять хлор та ін.). Цьому сприяє відповідне стандартизоване маркування деталей на стадії їхнього виготовлення.

Використання металобрухту істотно знижує вартість всієї металопродукції. За усередненими даними, при переплавленні сталевого металобрухту потрібно тільки 25% енергії, затрачуваної на виплавку стали з руди в домнах.

Особлива увага останнім часом приділяється переробці пластмас, поліпропілену, які усе більше використовуються у виробництві автомобілів.

Їхня переробка у вторинні матеріали і використання з максимальною ефективністю можливі тільки після розсортування за видами полімерів і за конкретними марками пластмас. Деякі фірми ввели із цією метою стандартизоване маркування деталей з гуми й пластмас, що дозволяє чітко визначити марку матеріалу.

Європейською Комісією розроблені проекти законів «Введення документів про переробку», згідно яких передбачено, що при утилізації, наприклад, автомобілів, починаючи з 2015 року мінімум, 85% (у 2015 р. – 95%) ваги повинен давати рециклінг матеріалів, тільки 10% можуть бути термічно перероблені (перетворені в енергію) і всього 5% можуть бути поховані.

Стратегія країн ЄС полягає в:

- запобіганні утворення відходів;
- рециклюванні відходів і вторинній переробці матеріалів;
- оптимізації кінцевої обробки відходів;
- регламентації транспортування відходів;
- проведенні заходів щодо реабілітації навколишнього середовища;
- виховній роботі з населенням;
- врахуванні екологічних параметрів при стандартизації якості продукції.

Основою збору та систематизації даних про відходи може служити стандартний уніфікований паспорт відходу. Який містить як мінімум фізико-хімічні характеристики відходу, дані про його кількість, технологію утворення, місце утворення. Накопичення і зберігання даних про відходи здійснюється в базах даних ЕОМ. При об'єднанні ЕОМ у мережі з'являється можливість створення розподілених баз даних і об'єднаних вузлів прийняття управлінських рішень.

Для прикладу докладніше зупинимося на Федеральному Законі «Про економічний рециклінг Німеччини» (від 07.10.1996). Даний закон сьогодні багатьма експертами визнаний зразком у питаннях організації авторециклінга.

Основна ідея полягає в тому, що вже на стадії розробки продукції слід домагатися зменшення кількості майбутніх відходів.

Однак, перевага вторинного використання перед знищенням діє не завжди. Так, матеріали передаються на вторинну переробку тільки в тому випадку, якщо це можливо технічно, економічно та екологічно виправдано. У іншому випадку відходи знищуються. А саме: коли знищення відходів є більш прийнятним рішенням з екологічної точки зору; коли вартість переробки відходів є значно більшою вартості кінцево-виробленої продукції.

У Швеції формується база даних зі всіх питань, що стосується автотранспортних засобів. Організації, які одержують право проводити інспекційний огляд автомобілів, будуть зобов'язані щодня повідомляти інформацію про автотранспортні засоби, що представляються до огляду й виявлених при цьому неполадках.

У Швейцарії демонтаж автомобілів і селективний збір матеріалів з виділенням небезпечних відходів роблять ремонтні майстерні, що мають державну ліцензію на виконання робіт даних видів. Із загального потоку відходів автотранспорту відбираються кондиційні вузли й деталі (для рециклінга та продажу), акумулятори, зношені шини. Інші відходи (кузова, рами, великогабаритні частини автомобіля) обробляються за допомогою пресування, різання, дроблення. Металобрухт сортується на чорні й кольорові метали, які надалі надходять на переплавлення. Таким чином, переробляється 114 тис. т чорних і 12 тис. т кольорових металів у рік, що становить 15% усього обсягу виплавленого металу у Швейцарії. Свинець вивозиться для переробки в інші країни, а полімерні відходи знищуються шляхом їхнього високотемпературного спалювання.

У США державне регулювання як на федеральному, так і на штатному рівнях відіграє усе більше помітну роль у стимулюванні виробництва вторинної сировини з відходів. Прийнятий у США в 1976 р. Закон про боротьбу із твердими відходами (з виправленнями 1980 і 1984 р.) встановлює стандарти з обов'язкового мінімального вмісту вторинної сировини в товарній продукції. У цей час вивчається ринкова кон'юнктура вторинних матеріалів, економічні й екологічні бар'єри, що перешкоджають їхньому застосуванню, нові галузі їхнього використання й т.д.

Ще більш активно діють уряди деяких штатів: у низці штатів встановлена плата за поховання відходів, у результаті чого збільшилося споживання вторинної сировини. У штаті Нью-Джерсі прийнятий законопроект про 50%-у податкову знижку на виробниче устаткування, на якому виробляється продукція, що містить не менше 50% вторинних матеріалів.

Найбільш важливим економічним стимулом переробки відходів у вторинну сировину є та обставина, що утилізація стає в американських містах найдешевшим способом боротьби з відходами. У США заборонена організація нових відкритих смітників, а поховання й спалювання відходів з урахуванням дотримання всіх екологічних норм виявляється в три рази дорожче, ніж переробка цих відходів у вторинну сировину. У багатьох штатах прийняті закони, згідно з якими кожний округ під загрозою припинення фінансування з фондів штату зобов'язаний на певний термін увести рециклізацію деякої частини відходів на своїй території. Повсюдно заборонене поховання автомобільних акумуляторів.

У США існує вимога купувати адміністраціями штатів продукцію вторинної переробки.

Більших успіхів у справі раціонального природокористування домоглася Японія. Відомо, що ця країна з більшості видів сировини й палива сильно залежить від імпорту. Саме тому в Японії приділяють проблемі переробки відходів надзвичайну увагу. Вже до 1985 р. у японській промисловості утилізувалося до 60% відходів.

Канада. Досвід провінції Альберта У рамках Міністерства навколишнього середовища провінції Альберта працює спеціальна Служба, що займається питаннями охорони навколишнього середовища.

У результаті на сьогодні у провінції Альберта діють більше тридцяти регіональних органів і комісій, що займаються питаннями керування відходами (загальна площа провінції 662 км<sup>2</sup>, загальна чисельність населення 3 млн. чоловік).

Досвід провінції Альберта підтвердив, що кожна громада відрізняється властивими тільки їй особливостями (уже існуючі системи керування відходами, вік населення, уже наявний досвід в області переробки відходів, відношення до цієї проблеми громадськості й персоналу), а тому відрізняються й рішення для кожної із громад.

Досвід Провінції Британської Колумбії Рада з рециклінгу Британської Колумбії створила свою інформаційну службу «Гаряча лінія з рециклінгу». Співробітники гарячої лінії відповідають більш ніж на 60000 дзвінків у рік.

Гаряча лінія з рециклінгу оперує складною пошуковою системою даних, що містить інформацію про компанії по керуванню відходами й рециклінгу, про чиновників з Уряду й муніципалітетів, що координують керування відходами, групах із захисту навколишнього середовища, постачальниках устаткування, корпоративних програмах з рециклінгу, про законодавство й агентства з моніторингу.

В економічно розвинених країнах розроблена й діє система державного регулювання політики з рециклінгу, законодавча база, розвинена інфраструктура підприємств з переробки відходів автотранспорту, проводяться численні заходи й акції з освіти й залучення населення. Світова практика говорить про те, що власник сам платить у Європі за утилізацію автомобіля (за звичай при покупці).

У закордонній і вітчизняній практиці діє багато різних за складом, продуктивністю й ступенем добування корисних елементів сортувальних і переробних технологій. Так, ступінь добування коштовних компонентів може коливатися в основному від 30% до 80%.

#### **9.4. Стічні води. Методи та способи очистки стічних вод**

##### **9.4.1. Класифікація стічних вод**

Стічні води, що відводяться з території промислових підприємств (ПП), за складом розділяють на три види:

*виробничі*, які утворюються в процесі виробництва різних виробів, продуктів, матеріалів (технологічні розчини, що відпрацювали, промивні води, води від охолодження; шахтні і кар'єрні води; води хімоводочистки; води від миття устаткування й виробничих приміщень, води від збагачувальних фабрик, а також від очистки та охолодження газоподібних відходів, очистки твердих відходів і їх транспортування тощо);

*атмосферні* води- дощові води та води від танення снігу;

*побутові* – стічні води від санітарних вузлів виробничих корпусів і будинків, а також від душових установок, наявних на території ПП.

Відповідно до цього розподілу на ПП існують 3 колектори для відводу: виробничо-технологічних стічних вод, тобто використаних у технологічному процесі або що утворюються при видобутку корисних копалин (вугілля, руди, нафти), технологічних процесах їх переробки на металургійних підприємствах і одержанні готового продукту; побутових стічних вод; поверхневого стоку з території ПП, що утворюється з дощових і талих вод;

Побутова каналізація ПП підключається до загальноміської. Таким чином, водовідведення ПП розглядається в основному відносно до виробничих стічних вод



#### 9.4.2. Склад та властивості стічних вод

Виробничі стічні води діляться на 2 основні категорії: забруднені і незабруднені (умовно чисті). Незабруднені води надходять від холодильних, компресорних, теплообмінних апаратів. Вони утворюються при охолодженні виробничого устаткування, готової продукції. Ці води тільки нагріваються і після охолодження використовуються повторно.

Отже, до промислових стічних вод відносяться:

- умовно чисті (від охолодження агрегатів);
- хімічно забруднені стічні води;
- зливові стоки, що збираються з території ПП.

Хімічно забруднені стічні води, в свою чергу, підрозділяють на:

- органічно забруднені (підприємства м'ясної, харчової, целюлозно-паперової, хімічної промисловості, заводи з виробництва пластмас, каучуку);
- забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівної, рудо-вуглевидобувної промисловості, заводи виробництва мінеральних добрив, кислот, будівельних матеріалів);
- забруднені мінеральними і органічними домішками (підприємства нафтовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної, текстильної, легкої, фармацевтичної промисловості; заводи з виробництва консервів, цукру, та ін.);
- води, що мають специфічні забруднення.

Речовини, що забруднюють виробничі стічні води, різноманітні і залежать від технології та виду виробництва.

За вмістом забруднюючих речовин виробничі стічні води (слабко концентровані та висококонцентровані) розділяються на чотири групи: 1...500, 500...5 000, 5 000...30 000 і більше 30 000 мг/л.

Виробничі стічні води можуть розрізнятися за фізичними властивостями забруднюючих їх органічних продуктів (наприклад, за температурою кипіння): менше 120°C, 120...250°C та вище 250°C.

За ступенем агресивності стічні води розділяють на: слабо агресивні (слабко кислі із рН = 6,6...6,5 і слабо лужні із рН = 8...9); сильно агресивні (сильно кислі із рН <6 і сильно лужні із рН >9); неагресивні (з рН = 6, 5...8).

Для розробки раціональної схеми водовідведення і оцінки можливості повторного використання виробничих стічних вод визнається їх склад і режим водовідведення. При цьому аналізуються фізико-хімічні показники стічних вод і режим надходження в каналізаційну мережу не тільки загального стоку промислового підприємства, але й стічних вод від окремих цехів.

При аналізі стічних вод повинні визначатися: вміст компонентів, специфічних для даного виду виробництва (фенолів, нафтопродуктів, поверхнево-активних, радіоактивних, вибухонебезпечних речовин), загальна кількість органічних речовин, що виражається величинами БПК<sub>повн</sub> і ХПК; активна реакція; інтенсивність покрашення; ступінь мінералізації. Необхідно встановити такі параметри, як кінетика осідання або спливання механічних

домішок, коагулюємість стоку та ін. Ці дані дозволяють вибрати найбільш доцільний і економічно обґрунтований метод очистки стічних вод для певного підприємства.

Фізико-хімічні показники виробничих стічних вод окремих підприємств свідчать про широкий діапазон коливань складу цих вод, що викликає необхідність ретельного обґрунтування вибору оптимального методу очистки для кожного виду виробничих стічних вод.

На різних підприємствах, навіть при однакових технологічних процесах, склад виробничих стічних вод, режим водовідведення і питома витрата на одиницю продукції, що випускається, досить різноманітні. Велике значення у формуванні складу виробничих стічних вод має вид сировини, що переробляється.

Виробничі стічні води різних галузей промисловості істотно відрізняються як за складом забруднюючих речовин, так і за їх концентраціями. Також склад стічних вод залежить від технологічного процесу виробництва, застосовуваних компонентів, проміжних виробів і продуктів, продукції, що випускається, складу вихідної водопровідної води, місцевих умов та інших факторів.

Кількість виробничих стічних вод визначається залежно від продуктивності підприємства за укрупненими нормами водоспоживання та водовідведення для різних галузей промисловості.

Нормою водоспоживання вважається доцільна кількість води, яка необхідна для виробничого процесу, встановлена (або що рекомендується) на підставі передового досвіду чи науково обґрунтованого розрахунку. Нормою водовідведення є встановлена середня кількість стічних вод, що відводяться від виробництва у водойму при доцільній нормі водоспоживання.

До укрупненої норми водоспоживання входять всі витрати води на підприємстві, як виробничі, так і господарсько-питні, витрати для приймання душів тощо. Норма водовідведення включає кількість стічних вод, що випускаються у водойму: очищених виробничих і побутових, виробничих, що не потребують очистки, фільтраційних, із ставків-освітлювачів, хвостосховищ і шламонакопичувачів.

Укрупнені норми водоспоживання та водовідведення виражаються в м<sup>3</sup> води на одиницю готової продукції або використаної сировини.

Укрупнені норми водовідведення в різних галузях промисловості коливаються в широких межах. Так, наприклад, при виробництві 1 т хліба – 4 м<sup>3</sup>, 1 т м'яса – 22 м<sup>3</sup>. За відсутності норм водовідведення кількість стічних вод визначається за технологічними розрахунками відповідно до регламенту виробництва. Кількість стічних вод від великих промислових підприємств може досягати 200...400 тис. м<sup>3</sup> за одну добу, що відповідає кількості стічних вод від міста з населенням 1...2 млн. чол.

Виробничі стічні води протягом зміни можуть надходити рівномірно або нерівномірно, що пов'язано з безперервною або періодичною роботою технологічних установок. На багатьох виробництвах хімічної, легкої,

текстильної, фармацевтичної, харчової й інших галузей промисловості відбуваються залпові надходження висококонцентрованих і високотоксичних стоків. При цьому періодичність скидання може бути один раз у зміну, у добу, у тиждень. Режим спуску виробничих стоків цілком визначається регламентом технологічного процесу виробництва окремих цехів і промислового підприємства в цілому.

Для промислових підприємств, крім режиму водовідведення стічних вод за годинами, на протязі доби слід враховувати графіки добового коливання складу стічних вод за основними фізико-хімічними показниками, а також за специфічними забруднюючими компонентами (поверхнево-активними, токсичними і радіоактивними речовинами).

#### **9.4.3. Методи очистки промислових стічних вод**

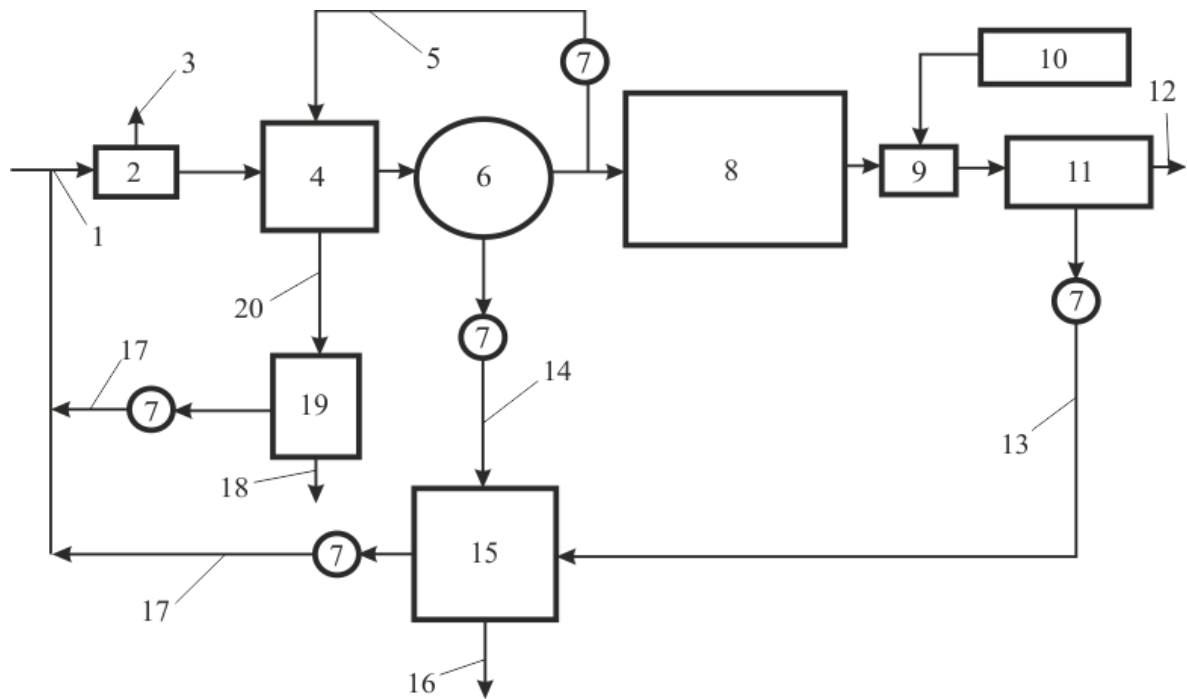
Для очистки стічних вод промислових підприємств застосовуються головним чином: механічні методи (проціджування, відстоювання у відстійниках, піскоуловлювачах, нафтовловлювачах; у гідроциклонах, осаджувальних центрифугах і фільтрування – пропуск води через шар зернистого матеріалу, або фільтруючу перегородку під дією гравітації, вібрації, відцентрової сили, перепаду тисків); хімічні методи (нейтралізація, коагуляція, флокуляція); фізико-хімічні методи (флотація, сорбція, екстракція, евапорація); електрохімічні методи, що пов'язані з накладанням електричного поля – електрокоагуляція, електрофлотація; комбіновані методи.

Основним фактором при виборі методу обробки води є фазовий стан речовини.

Вибір методу очистки води, типи і розміри очисних споруд залежать від складу, властивостей і витрати промстоків, площі території підприємства та інших факторів, а також вимог до якості очищеної води.

Споруди для очистки стічних вод розміщуються за висотою на майданчику очисних споруд таким чином, щоб очищуванні стічні води із однієї споруди в іншу надходили самопливом.

Найпростіша з них – технологічна схема очистки міських стічних вод у природних умовах, зображена на рис. 9.8. Вона застосовується при витратах очищуваних стічних вод до 10000 м<sup>3</sup>/добу при наявності достатніх розмірів майданчика під очисні споруди.



- 1 – очищувані стічні води; 2 – решітка; 3 – покидьки; 4 – піскоуловлювач;  
 5 – технічна вода; 6 – двоярусний відстійник (освітлювач-перегнівач);  
 7 – насосна станція; 8 – поля фільтрації (біоставки); 9 – змішувач;  
 10 – хлораторна; 11 – контактний резервуар; 12 – очищені стічні води;  
 13 – осад з контактного резервуару; 14 – стабілізований осад;  
 15 – муловий майданчик; 16 – зневоднений осад; 17 – дренажна вода;  
 18 – зневоднений пісок; 19 – пісковий майданчик; 20 – піщана пульпа

Рис. 9.8 – Технологічна схема очистки стічних вод у природних умовах

**Механічна очистка стічних вод.** Одним з основних видів забруднень виробничих стічних вод є нерозчинні (легкі й важкі) мінеральні і органічні домішки, концентрація яких коливається в широких межах. Усереднення концентрації й регулювання витрати стічних вод, а також виділення нерозчинних домішок з води в очисних спорудах становлять завдання механічного очищення. Механічна очистка служить для видалення нерозчинених речовин розміром більше 10 см. Забезпечується це за рахунок проціджування на ґратах, дугових ситах, грохотах; відстоювання (гравітаційного або відцентрового), фільтрування через спеціальні сітки або піщано-гравійні фільтри (для відділення дрібних частинок що перебувають у воді в зваженому стані, тобто суспензій) та центрифугування.

Залежно від вимог до якості очищеної води застосовують різні очисні споруди: ґрати та сітки, призначені для затримки крупних домішок, що рухаються по каналу (проціджування); піскоуловлювачі – для виділення важких мінеральних домішок, головним чином, піску; відстійники та фільтри – для затримки більш дрібних у воді домішок; гідроциклони та осаджувальні центрифуги.

Як правило, механічна очистка є попереднім, рідше – остаточним етапом очистки виробничих стічних вод. При механічному очищенні забезпечується видалення завислих речовин зі стічних вод на 90...95%, зниження органічних забруднень (по БПК<sub>повн</sub>) на 20...25%. Більш високий ефект механічної очистки стічних вод досягається інтенсифікацією гравітаційного відставання, наприклад, добавкою реагентів, проясненням у зваженому шарі або в тонкому шарі (тонкошарові відстійники).

Для затримки різних речовин, що плавають на поверхні стічних вод (масел, жирів, нафти, смол і т.п.), служать різні споруди: мастило-, жиро-, нафто-, смолоуловлювачі. Процес більш повного прояснення стічних вод здійснюється фільтруванням – пропуском води через шар різного зернистого матеріалу (кварцового піску, гранітних щебенів, дробленого антрациту і керамзиту та інших матеріалів) або через сітчасті барабанні фільтри і мікрофільтри, через високопродуктивні напірні фільтри та фільтри із плаваючим завантаженням – пінополіуретановим або пінополістірольним.

На різних ПП механічна очистка є єдиним і достатнім способом очистки стічних вод від механічних домішок і для підготовки їх до повторного використання в системах оборотного водопостачання.

*Гравітаційне відстоювання.* Метод відстоювання використовують для виділення з виробничих стічних вод нерозчинених різноманітних твердих і рідких домішок, які здатні в спокійній воді осідати на дно або спливати на поверхню. Час очистки залежить від швидкості осідання (спливання) нерозчинених домішок у спокійній воді. Така швидкість (гідравлічна крупність часток) є основною величиною для розрахунку відстійних споруд.

Відстійники для очистки виробничих стічних вод можуть являти собою як самостійні споруди, на яких процес очистки закінчується, так і споруди, призначені тільки для попередньої очистки.

Для очистки стічних вод ПП використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, що застосовуються при очищенні міських стічних вод (піскоуловлювачі, відстійники), так і спеціальні. Залежно від вимог до якості проясненої виробничої стічної води застосовують горизонтальні і радіальні відстійники різних конструкцій, які можуть бути обладнані камерами флокуляції.

*Очистка стічних вод від дрібнодисперсних і колоїдних домішок за допомогою коагуляції та флокуляції.* Стічні води багатьох хімічних виробництв являють собою низько концентровані емульсії або суспензії, що містять дрібнодисперсні частки розміром 0,1...10 мкм і більше, а також колоїдні частки розміром 0,001...0,1 мкм. Застосовані методи механічної очистки стічних вод дозволяють видаляти частки крупніше 10...50 мкм. Для очистки стічних вод від дрібнодисперсних і колоїдних часток використовують методи коагуляції і флокуляції, які обумовлюють злипання часток з утворенням великих агрегатів, що легко видаляються з води механічними методами.

Для інтенсифікації процесу осадження високодисперсних завислих і колоїдних часток застосовують різні коагулянти і флокулянти (солі алюмінію, заліза), а також флокулянти-поліакриламід і ін.).

У процесі простого відстоювання відділення механічних домішок відбувається під дією сил ваги. При цьому частки осаджуються або спливають.

У процесі осадження або спливання частки взаємодіють одна з одною, у результаті чого в одних випадках частки злипаються, а в інших осаджуються самостійно. Можливість і інтенсивність укрупнення залежить від багатьох факторів: від природи і хімічного складу забруднень стічних вод, від температури і т.п.

Таким чином, можливе укрупнення часток без впливу реагентів. Укрупнення часток називається процесом коагуляції. Найчастіше цей метод застосовується до процесу укрупнення часток під дією хімічних речовин: електролітів (коагулянтів). До таких речовин відносять  $Al_2(SO_4)_3$ ;  $FeSO_4$ ,  $Ca(OH)_2$  та ін.

Для інтенсифікації процесів укрупнення механічних домішок застосовуються речовини – поліелектроліти. Це високомолекулярні органічні речовини: поліакриламід і його похідні. Укрупнення часток під дією флокулянтів називається флокуляцією. Таким чином, поняття коагуляція та флокуляція багато в чому і відрізняються застосуванням тих або інших хімічних речовин.

Завислі речовини, що втримуються в природних і стічних водах, мають певний електричний заряд. У більшості випадків частки завислих речовин несуть негативний електричний заряд.

Сутність коагуляції і флокуляції полягає в зміні електрокінетичного потенціалу, а іноді й у зміні знака потенціалу з негативного на позитивний. Зниження величини електричного потенціалу сприяє коагуляції. Застосування флокуляції це використання поліелектролітів, які характеризуються високою молекулярною вагою і структурою молекули, що володіє високими поверхнево-активними властивостями. Механізм дії флокулянтів полягає у тому, що молекули цих флокулянтів мають у стічній воді структурні активні ділянки (сегменти), якими ця молекула і прикріплюється до завислих часток.

#### *Очистка води методом фільтрування.*

У більшості випадків фільтри застосовуються для глибокої очистки (доочистки) стічних вод після фізико-хімічної або біологічної очистки для подальшого вилучення тонкодиспергованих речовин, а також для виділення специфічних забруднень.

Для очистки стічних вод застосовують високовиробничі фільтраційні споруди – швидкі та сітчасті фільтри зі швидкістю фільтрації відповідно 5...15 та 30 м/год на 1 м<sup>2</sup> площі фільтрації та спеціальні конструкції фільтрів для видалення специфічних забруднень.

Сітчастими фільтрами видаляють зі стічних вод завислі та плаваючі речовини при концентрації їх у вихідній воді більше 30 мг/л. Стабільна та надійна робота швидких фільтрів може бути забезпечена при концентрації завислих речовин не більше 30 мг/л і нафтопродуктів не більше 50 мг/л.

Для швидких фільтрів використовуються відкриті (безнапірні) або напірні апарати з висхідним або низхідним напрямом руху фільтраційного потоку.

Фільтрування води полягає в пропущенні її через шар зернистого або пористого фільтруючого матеріалу, що володіє здатністю затримувати на своїй поверхні під дією сил прилипання або у своїй товщі завислі частки забруднень, що втримуються у воді.

Фільтри із зернистим завантаженням застосовуються для доочистки стоків виробництв хімічної, металургійної, легкої, гірничодобувної, будівельної й ряду інших галузей промисловості. До фільтруючих матеріалів пред'являється ряд вимог. Вони повинні мати певний фракційний склад, механічну міцність (на стирання і здрібнювання), хімічну стійкість до води і її домішок, повинні бути доступними і мати невисоку вартість.

В якості фільтруючого середовища можуть бути застосовані природні та штучні фільтруючі матеріали (кварцовий пісок, дроблений антрацит, кварц, мармур, керамічна крихта, доломіт, магнетит і ін.). Останнім часом одержали поширення керамзит, синтетичні матеріали (полістирол, поліуретан і ін.), горілі породи і т.п. Для завантаження фільтрів застосовують середньозернистий (розміри зерен 0,35...1,5 мм) і грубозернистий пісок (0,5...2 мм). Крім зернистих матеріалів фільтрувати воду можна через різні металеві сітки, перегородки.

За крупністю фільтруючого матеріалу розрізняють – дрібнозернисті (розміром часток верхнього шару завантаження 0,4 мм), середньозернисті (0,4...0,8 мм) і грубозернисті (більше 0,8 мм) завантаження.

Для запобігання виносу фільтруючого матеріалу з фільтратом застосовують спеціальні дренажні системи (пористі труби і плити, ковпачки та ін.) або укладають фільтруючі матеріали на підтримуючі шари (гравій, щебінка і т.п.), розташовані один за одним у порядку збільшення крупності часток.

При погіршенні якості фільтрату або значному збільшенні гідравлічного опору фільтра проводиться промивання фільтруючого матеріалу завантаження. За числом фільтруючих шарів фільтри існують одношарові, двошарові та багатшарові, наприклад, каркасно-засипні.

Швидкі фільтри можна завантажувати матеріалом з рівною крупністю часток або декількома різнорідними матеріалами, які розташовують у напрямку зменшення крупності завантаження. Фільтри застосовують з вертикальним низхідним або висхідним потоком води. Брудоемкість (кількість забруднень, кг, що видаляються з 1 м<sup>2</sup> поверхні завантаження фільтра) фільтрів з висхідним потоком води та зменшенням крупності

завантаження, як правило, у 2 рази перевищує брудоемкість фільтрів з однорідним завантаженням і низхідним потоком води.

У системах виробничого водопостачання фільтрування води найчастіше здійснюється в напірних фільтрах із грубозернистим завантаженням кварцовим піском або дробленим антрацитом. Напірні фільтри застосовують для механічної очистки стічних вод після їх гравітаційного відстоювання.

#### *Хімічна очистка стічних вод.*

Хімічні й фізико-хімічні способи застосовують для очистки стічних вод від колоїдних і розчинених речовин. До основних хімічних способів очистки відносяться окислювання забруднюючих воду речовин, нейтралізація із введенням у стічні води речовин з кислотою або лужною реакцією для забезпечення в них рН у межах 6,5...8,5.

Хімічна очистка може здійснюватися як самостійний метод перед подачею виробничих стічних вод у систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водойму або міську каналізаційну мережу. Більшу небезпеку представляють кислі стоки, які до того ж зустрічаються значно частіше, ніж лужні. Найбільше часто стічні води забруднені кислотами – сірчаною, азотною, соляною, а також їхніми сумішами. У більшості кислих стоків містять солі важких металів, які необхідно видаляти.

З метою попередження корозії матеріалів очисних споруд, порушення біохімічних процесів у біологічних окислювачах у водоймах, а також з метою осадження зі стічних вод солей важких металів кислі й лужні стоки необхідно піддавати нейтралізації.

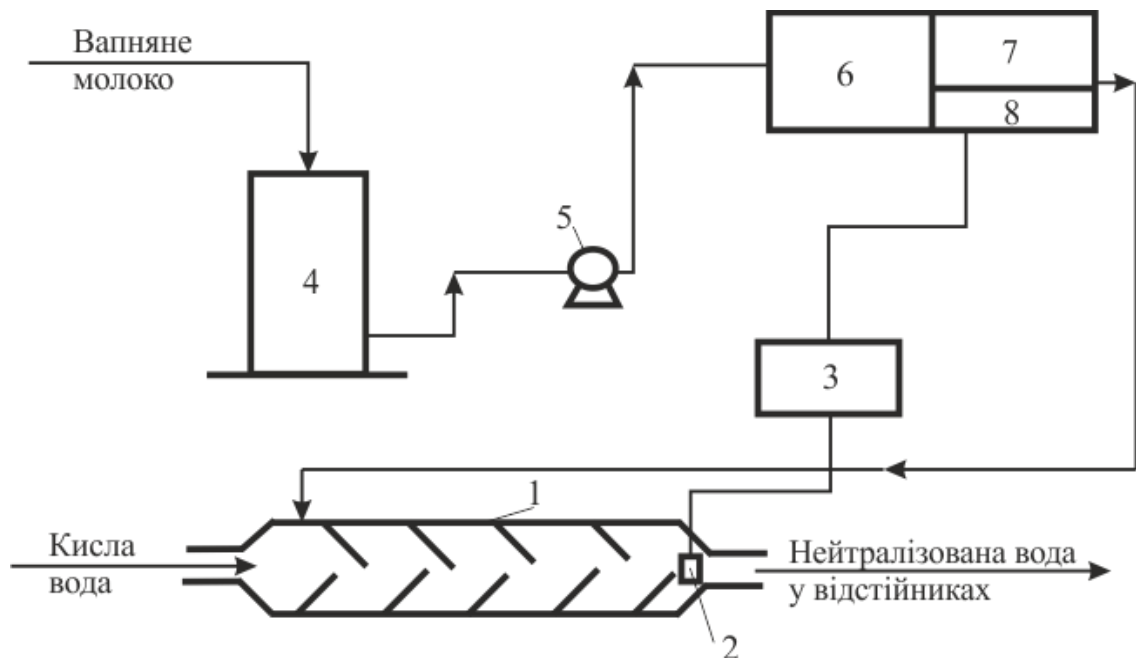
При хімічному очищенні застосовують наступні способи нейтралізації: взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод; нейтралізація реагентами (розчини кислот, негашене вапно, гашене вапно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , кальцинована сода, аміак); фільтрування через нейтралізуючі матеріали (вапно, вапняк  $\text{CaCO}_3$ , доломіт  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , магнезит  $\text{MgO}$ ).

Вибір способу нейтралізації залежить від багатьох факторів: виду й концентрації кислот, що забруднюють виробничі стічні води, витрат і режиму надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію, наявності реагентів, місцевих умов і т.п.

У процесі нейтралізації сірчано-кислих стічних вод вапняним молоком утворюється осад гіпсу, який має вологість 98...99%.

Установки для нейтралізації стічних вод (рис. 9.9) включають реагентне господарство, усереднювачі, змішувачі, контактні резервуари, відстійники для виділення шламу.





- 1 – змішувач; 2 – заглибний датчик;  
 3 – прилади системи автоматичного регулювання;  
 4 – збірник вапняного молока; 5 – насос; 6 – прийомна частина дозатора;  
 7 – дозатор; 8 – виконавчий механізм

Рис. 9.9 – Схема установки нейтралізації стічних вод

Кисла вода з усереднювача потрапляє до змішувача 1, який є одночасно і контактним резервуаром. Заглибний датчик 2, встановлений на виході зі змішувача, а також прилад системи автоматичного регулювання 3 дозволяють здійснювати автоматичне регулювання рН вод на виході зі змішувача. Вапняне молоко зі збірника 4 насосом 5 подається у прийомну частину 6 дозатора 7. Час перебування води в камері нейтралізації при використанні вапняного молока складає 5...30 хвилин в залежності від наявності у воді солейважких металів та інших домішок.

Виробничі стічні води в більшості випадків являють собою слабо концентровані емульсії або суспензії, що містять колоїдні частки розміром 0,001...0,1 мкм, дрібнодисперсні частки розміром 0,1...10 мкм, а також частки розміром більше 0,1 мкм.

У процесі механічної очистки зі стічних вод легко видаляються частки розміром більше 10 мкм, дрібнодисперсні й колоїдні частки практично не видаляються. Стічні води багатьох виробництв після споруд механічної очистки являють собою агрегативно-стійку систему. Для їх очистки застосовують методи коагуляції, при цьому агрегативна стійкість порушується, утворюються більші агрегати часток, які видаляють зі стічних вод механічними методами.

Застосування електрохімічних методів для очистки промислових стічних вод засновано на їх електролізі, тобто на пропусканні через них

постійного електричного струму за допомогою занурених електродів. Очистка методом електрокоагуляції основана на їх електролізі з використанням металевих (сталевих або алюмінієвих) анодів, що підлягають електролітичному розчиненню. Внаслідок розчинення анодів вода збагачується відповідними іонами, які потім утворюють у нейтральному чи слабко лужному середовищі гідроокись алюмінію або гідрозакись заліза, яка під впливом розчиненого у воді кисню переходить у гідроокись заліза. У результаті здійснюється процес коагуляції, аналогічній обробці води відповідними солями алюмінію або заліза. Однак, на відміну від застосування коагулянтів, при електрокоагуляції вода не збагачується сульфатами чи хлоридами вміст яких в очищеній воді лімітується як при скиданні у водойми, так і при повторному використанні в системах оборотного водопостачання.

Електрокоагуляційні методи застосовують в основному для очистки стічних вод із нейтральною або слабко лужною реакцією ( $pH = 5 \dots 9$ ). Електрокоагуляція у поєднанні з електрофлотацією або без неї застосовується, головним чином, для видалення зі стічних вод нерозчинених тонкодиспергованих домішок, що утворюють у воді різні колоїдні системи.

Електрофлотацію застосовують для обробки невеликої кількості стічних вод і технологічних розчинів у гальванічному виробництві при витраті більше  $20 \dots 40 \text{ м}^3/\text{год}$ . з високим вмістом солей і низькою електропровідністю.

При електрофлотації можливе використання коагулянтів і флокулянтів, а також комбіновані схеми напірної флотації й електрофлотації. Сутність цього способу очистки стоків полягає в перенесенні забруднюючих часток з рідини на її поверхню за допомогою пухирців газу, що утворюються при електролізі стічної води. У процесі електролізу води на катоді виділяється водень, а на аноді – кисень.

#### *Фізико-хімічні методи очистки.*

При фізико-хімічному очищенні використовують наступні методи: *коагулювання із введенням у стічні води речовин – коагулянтів*, що сприяють прискоренню виділення з них нерозчинених і частини розчинених забруднень; *екстракція* – введення в стічні води речовини, що не змішується з ними, але здатної розчиняти забруднення, що перебувають в них. При цьому сам розчинник не повинен розчинятися у воді.

Рідинна екстракція органічними розчинниками (екстрагентами) – один з найпоширеніших методів добування зі стічних вод фенолів і жирних кислот при відносно високому їхньому вмісті, особливо продуктів, що представляють технічну цінність. Процес екстракції є, як правило, багатоступінчастим, тобто складається з ряду послідовно проведених процесів змішання вихідної стічної води з розчинником (екстрагентом) і наступного розподілу рідких фаз, що не змішуються.

*Флотація* полягає в пропусканні через стічну воду повітря, пухирці якого при русі нагору захоплюють забруднюючі воду речовини. Під дією

молекулярних сил дрібні частки суспензій і емульсій (наприклад, нафтопродуктів) злипаються з пухирцями диспергованого в стічній воді повітря і системи, що утворюються, спливають на поверхню.

*Адсорбція* – здатність деяких речовин концентрувати на своїй поверхні речовини, що перебувають у стічних водах.

*Абсорбція* – це процес переходу молекул речовин з газу в рідину.

*Евапорація* – пропуск через нагріту стічну воду водяної пари.

*Очистка виробничих стічних вод методом флотації.* Флотація відноситься до фізико-хімічних методів очистки стічних вод і застосовується в багатьох виробництвах нафтопереробної, гірської, металургійної промисловості, машинобудівної, хімічної, харчової, целюлозно-паперової, шкіряної, м'ясо-молочної промисловості тощо. Вона використовується також для виділення активного мулу після біологічної очистки.

Останнім часом широке застосування для прояснення стічних вод, забруднених легкими високодисперсними суспензіями, одержав метод флотації. Ефект флотації полягає в тому, що дисперговані в тонкій суспензії пухирці повітря прилипають до часток суспензії й спливають разом з ними на поверхню рідини, утворюючи над нею піну (флотаційний шлам). У процесі флотації в пінний шар переходять емульсії нафтопродуктів, жирів, а також розчинені в стічних водах різні поверхнево-активні речовини.

Перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні вкладення і експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, у порівнянні з відстоюванням більша швидкість процесу, а також можливість одержання шламу (пінного продукту), більше низької вологості, високий ступінь очистки (95...98%), можливість рекуперації речовин, що видаляються. Концентрація нафтопродуктів у стоках після очистки флотацією нижче в порівнянні з очисткою у нафтовловлювачі.

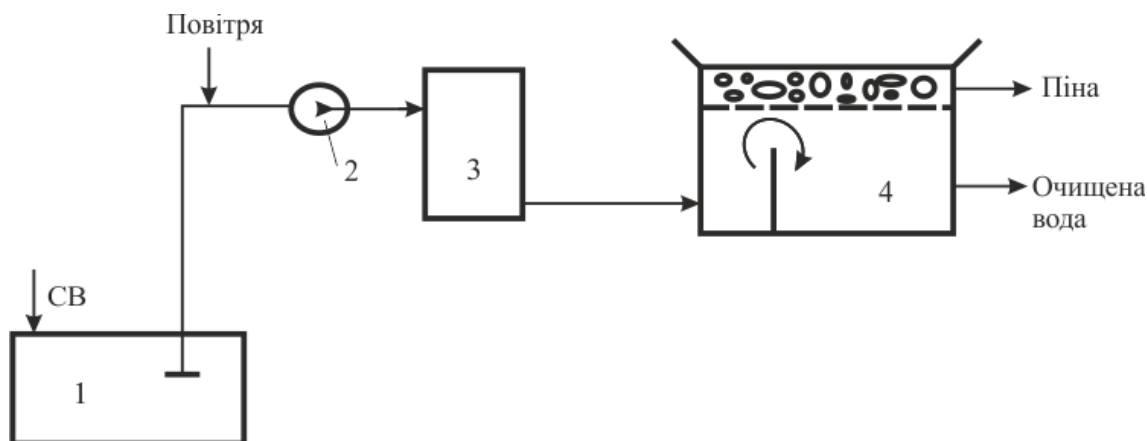
Серед типів флотаторів найбільше поширення отримав флотатор, побудований на принципі диспергування повітря турбіною насосного типу (імпелером). Такі установки застосовують для видалення зі стічних вод емульгованих нафтопродуктів.

На флотаційний процес впливають: рН стічних вод, температура стоків, солеміст, конструкція флотаційної установки та ін. Розрізняють такі види флотації:

- з виділенням повітря з розчину (напірна, вакуумна, ерліфтна, ежекторна);
- з механічним диспергуванням повітря (імпелерні, безнапірні й пневматичні флотаційні установки);
- з подачею повітря через пористі матеріали; – електрофлотація; – біологічна й хімічна флотації.

Флотаційні установки бувають: одно-, двох- і багатокамерні. Найбільше поширення знайшли напірні установки (рис. 9.10). Вони прості

й надійні в експлуатації я дозволяють очищати стоки з концентрацією завислих речовин до 5...10 г/л і навіть вище.



1 – ємкість; 2 – напірний бак; 3 – флотатор

Рис. 9.10 – Принципова схема напірної флотації

Процес здійснюється у дві стадії: 1) Насичення води повітрям під тиском; 2) Виділення розчиненого газу під атмосферним тиском. Напірні флотоустановки мають продуктивність від 5...10 до 2000 м<sup>3</sup>/год. При проектуванні флотаторів для очистки стічних вод з витратою до 100 м<sup>3</sup>/год приймаються прямокутні в плані камери глибиною 1...1,5 м з горизонтальним рухом води, а з витратою більше 100 м<sup>3</sup>/год – радіальні флотатори глибиною не менше 3 м. Глибина зон флотації й відстоювання приймається не менше 1,5 м, а тривалість перебування води в них відповідно не менше 5 і 15 хв. Площу флотаційної камери слід приймати виходячи з гідравлічного навантаження 3...6 – 10 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні камери.

Горизонтальна швидкість руху води в прямокутних і радіальних флотокамерах – не більше 5 мм/с. Об'єм флотокамери складається з об'ємів робочої зони (глибина 1,0...3,0 м), зони формування і нагромадження піни (глибина 0,2...1 м), зони осаду (глибина 0,5...1,0 м). Число флотокамер повинне бути не менше двох і всі камери робочі.

Флотатори-відстійники являють собою комбіновані споруди, що складаються із круглого в плані радіального відстійника з вбудованою у нього підвісною флотокамерою. Воду, що очищається, насичують повітрям за допомогою насоса і подають у флотатор через редуційний клапан, розташований в окремій камері. Застосовують для очистки великих обсягів стічних вод. Розроблені типові проекти радіальних флотаторів і флотаторів – відстійників пропускною здатністю 300, 600 і 900 м<sup>3</sup>/год мають відповідно діаметри 9, 12 і 15 м і глибину 3 м.

*Очистка стічних вод від розчинених органічних домішок регенераційними методами.* Застосування регенераційних методів для

очистки виробничих стічних вод дозволяє не тільки знешкоджувати стічні води, але й вилучати з них цінні домішки. У ряді випадків очищені стічні води можуть бути повторно використані у виробництві. Повернення у виробництво вилучених домішок зменшує продуктивні втрати сировини, реагентів і продукції і часто робить процес очистки стічних вод рентабельним. Створення комплексних безвідхідних виробництв підвищує значення й перспективи використання регенераційних методів очистки стічних вод.

*Очистка стічних вод методом екстракції.* Екстракційний метод широко застосовується для очистки стічних вод від органічних домішок, особливо фенольних стічних вод термічної переробки твердих палив (вугілля, сланцю, торфу). Використання методу екстракції економічно доцільно у випадку значної концентрації органічних домішок або високої вартості речовини, що вилучається. Наприклад, добування фенолів зі стічної води раціонально при їх концентрації не менше 2...4 г/л.

У процесі екстракції розчинена речовина розподіляється між стічною водою і екстрагентом до досягнення рівноваги, яка характеризується законом рівноважного розподілу, що виражають через коефіцієнт розподілу, який залежить від ряду факторів: температури, присутності домішок у воді та екстрагенті тощо.

Для успішного протікання процесу екстракції екстрагент повинен мати наступні властивості: 1) мати гарну екстрагуючу здатність стосовно речовини, що вилучається, тобто високий коефіцієнт розподілу; 2) володіти певною селективністю – здатністю екстрагувати із складної водної системи одну або певну групу речовин; 3) відрізнятися малою розчинністю у воді (з іншого боку, вода повинна мало розчинятися в екстрагенті); 4) помітно відрізнятися щільністю від щільності води, що забезпечує швидкий і повний розподіл фаз; 5) мати температуру кипіння, що значно відрізняється від температури кипіння екстрагуючої речовини, що забезпечує легкість їхнього розділу; 6) не взаємодіяти з екстрагуючою речовиною, матеріалом апаратури і не піддаватися помітному гідролізу; 7) мати невелику питому теплоту випару й малу теплоємність, що дозволяє знизити витрати пари й охолодної води; 8) мати можливо меншу вогнебезпечність, вибухонебезпечність і токсичність; 9) мати низьку вартість.

Органічні розчинники (наприклад, бензол, прості й складні ефіри) застосовуються для екстракційної очистки стічних вод від фенолів у коксохімічній, сланцепереробній і вуглепереробній промисловості.

У якості екстрагентів при добуванні фенолів у деяких випадках використовують різні технічні продукти, такі, як антраценове масло, сирий бензол, що містить толуол, ксилоли й інші домішки, побічні продукти виробництва бутилового спирту, одержувані при ректифікації бутилового й ізобутилового спиртів. Ці екстрагенти мають низьку вартість і дозволяють значно зменшити вартість очистки стічних вод. Основний недолік зазначених екстрагентів – нестабільність складу.

Часто екстракція сумішшю двох розчинників виявляється більш ефективною, ніж роздільне застосування компонентів суміші.

Для екстракційної очистки стічних вод застосовують схеми багатоступінчастої противоточної екстракції і безперервної противоточної екстракції. Схеми установок одноступінчастої (однократної) і багатоступінчастої екстракції в перехресному струмі не одержали поширення внаслідок недостатньої ефективності і великої витрати екстрагента.

При екстракції за багатоступінчастою противоточною схемою стічна вода і екстрагент надходять із протилежних кінців установки, що складається з декількох ступенів, кожна з яких включає змішувач води і екстрагенти та відстійник (або відцентровий сепаратор). Стічна вода і екстрагент рухаються назустріч один одному, в результаті очищена стічна вода виходить із останнього ступеня, а кінцевий екстракт – з першого ступеня. На останньому ступені стічна вода, що містить невелику кількість вилучаємих домішок змішується зі свіжим екстрагентом, а на першому ступені вихідна стічна вода контактує з екстрагентом, що містить деяку кількість домішок. Завдяки цьому досягається більш рушійна сила процесу екстракції й висока ефективність очистки стічних вод.

При безперервної противоточної екстракції стічна вода (дисперсійне середовище) і краплі диспергированного екстрагента (дисперсна фаза) рухаються назустріч один одному й домішки стічної води безупинно переходять в екстрагент. Поділ фаз відбувається на вході й виході з апарата. Ця схема також забезпечує високу рушійну силу процесу екстракції.

При безперервній противоточній екстракції стічна вода (дисперсійне середовище) та краплі диспергированого екстрагента (дисперсійна фаза) рухаються назустріч одна одній і домішки стічної води безперервно переходять екстрагент. Розділ фаз здійснюється на вході та виході з апарата. Ця схема також забезпечує високу рушійну силу процесу екстракції.

У деяких випадках екстрагент може бути дисперсійним середовищем. Метод безперервної противоточної екстракції найбільш часто використовується для очистки стічних вод. Відповідно до зазначених схем для очистки стічних вод застосовують дві групи екстракційних апаратів: 1) східчасті екстрактори; 2) диференційно-контактні екстрактори, у яких відбувається практично безперервна зміна складу фаз.

Технологічна схема очистки стічних вод екстракційним методом залежить від кількості і складу стічних вод, властивостей екстрагента, способу його регенерації й ряду інших факторів. Зазначена технологічна схема включає звичайно чотири установки: 1) підготовки води; 2) екстракції; 3) регенерації розчинника з очищеної води; 4) регенерації розчинника з екстракту.

До складу установок підготовки води для екстракційної очистки звичайно включають відстійники, флотатори, фільтри для механічної очистки; нейтралізатори для доведення рН до необхідної величини; карбоні

затори для обробки стічних вод, що містять аміак; поверхневі холодильники для охолодження стічної води до температури не вище 30...40°C.

*Очистка перегонкою і ректифікацією.* Перегонка і ректифікація є одним з найпоширеніших методів видалення зі стічних вод розчинених органічних рідин. Установки перегонки і ректифікації стічних вод, як правило, входять до складу технологічних схем основних виробництв. Видалені зі стічної води домішки звичайно використовують на цих же виробництвах.

Для очистки стічних вод застосовують просту перегонку, перегонку в присутності водяної пари або інертних носіїв, азеотропну перегонку, а також ректифікацію у відгінних колонах, у присутності водяної пари і азеотропну ректифікацію.

Специфічність процесу очистки стічних вод цими методами обумовлюється відносно малими концентраціями домішок і необхідністю практично повного виділення їх зі стічних вод.

*Просту перегонку* проводять на установці періодичної дії шляхом поступового випару стічної води, що перебуває в перегінному кубі. Пари, що утворюються, конденсуються в конденсаторі-холодильнику, і дистилат надходять у збірник. Просту перегонку здійснюють також і безперервним методом. Метод простої перегонки доцільно застосовувати для очистки стічних вод від домішок, температура кипіння яких значно нижче температури кипіння води (ацетон, метиловий спирт і т.п.).

Досить часто для очистки стічних вод застосовують перегонку з водяною парою. Відмінність цієї схеми від простої перегонки полягає у введенні гострої пари безпосередньо в стічну воду, що спрощує конструкції перегінних апаратів, знижує витрату тепла на перегонку. Для відгону зі стічної води домішок використовують інертні носії, наприклад газу, азот, диоксид вуглецю та ін. Застосування цього методу доцільно для виділення домішок, що мають високий тиск пари і, відповідно, низьку температуру кипіння, зміст яких у стічній воді не великий (100...200 мг/л).

Недоліком методу відгону з інертними носіями є складності, які пов'язані з відділенням дистилату, що важко спалюється від інертного носія.

*Очистка стічних вод від розчинених органічних домішок деструктивними методами.* До основних деструктивних методів знешкодження стічних вод від органічних домішок відносяться термоокислювальні, окислювальні методи (наприклад, озонування, хлорування), а також електрохімічне окислення. Деструктивні методи застосовують у разі неможливості або економічної недоцільності вилучення домішок зі стічних вод. Вибір деструктивного методу для знешкодження стічних вод здійснюється з урахуванням витрати стічних вод, складу та властивостей домішок, вимог до якості очищеної води та можливості її повторного використання.

До термоокислювальних методів знешкодження стічних вод відносяться парофазне окислювання ("вогневий" метод) та рідкофазне

окислювання. Сутність цих методів полягає в окислюванні домішок киснем повітря при підвищеній температурі.

#### **9.4.4. Проблеми очищення стічних вод деяких галузей харчової промисловості**

Для виробничої діяльності підприємств цукрової галузі характерним є значне забруднення повітря, водних ресурсів, виснаження земель.

Серед основних забруднюючих речовин, що викидаються *цукровими* заводами в атмосферне повітря слід зазначити продукти згорання палива ТЕЦ (природного газу), відпрацьований сатураційний газ (оксид вуглецю), аміак від випарної установки, оксид заліза та сполуки мангану при газовому різанні металу та електродугового зварювання, масляна та оцтова кислоти від сховища жому, сірководень та карбонові кислоти від полів фільтрації

Істотними забруднювачами середовища є осади, що утворюються у відстійниках-накопичувачах та після фільтрування очищеного вапно карбонізацією дифузійного соку. До їх складу входять органічні та мінеральні речовини. Осади після фільтрування складаються переважно з карбонату кальцію, який після спеціальної обробки може застосовуватися в якості адсорбенту в технологічному процесі або інших галузях промисловості.

Основною ж екологічною проблемою цукрових заводів є значне водоспоживання, де більшість підприємств не мають зворотного водопостачання. На цих підприємствах для переробки 1 т цукрового буряку споживають близько 8 т вихідної води. Впровадження системи зворотного водоспоживання дає можливість знизити цей показник до 1,25...2,5 т. Кількість стічних вод, що направляють на очисні споруди, становить 224% маси буряку.

В технологічному процесі виробництва цукру вода, перш за все, використовується для миття буряків, екстрагування сахарози з бурякової стружки, промивання фільтраційного осаду, а також цукру в центрифугах. Також вода в бурякоцукровому виробництві використовується як хімічний реагент при одержанні вапняного молока із оксиду кальцію для очищення дифузійного соку.

Значна кількість води використовується як охолоджувальний агент під час конденсації утфельної пари й одержанні вакууму для уварювання утфелю; охолодженні напівпродуктів виробництва (утфелю останньої кристалізації), охолодженні і промиванні сатураційного газу, також для охолодження різних агрегатів, компресорів і підшипників насосів.

Також, у значних кількостях вода застосовується як середовище, що транспортує, наприклад, буряки з кагатного поля у бурякомийне відділення цукрового заводу, а із заводу – відходи виробництва: жом, фільтраційний осад, транспортерно-мийний осад – до місць їх складування. Найбільш забрудненими органічними домішками є транспортерно-мийна та жомопресова води, кількість яких може сягати відповідно 800...900 і 60% до



маси перероблених буряків. Вони містять значну кількість органічних речовин у розчиненому стані та у вигляді завислих часточок: сахарозу і продукти її розкладання, білки та інші азотисті речовини, пектин, сапонін, пентози, солі калію, магнію, фосфорної і соляної кислот тощо. Оскільки стічні води містять значну кількість поживних речовин для розвитку мікроорганізмів, то в них швидко відбуваються процеси бродіння і загнивання.

Частково воду використовують повторно, наприклад, конденсати з випарної установки. Проте й вони містять в своєму складі аміак та інші речовини, тому потребують очищення. Води, які використовують для охолодження турбін, котельні, змішувачів та іншого обладнання, зараховують до умовно чистих, їх можна використовувати повторно після відповідної підготовки.

Забруднені води III категорії містять в своєму складі завислі речовини, залишки ґрунту та органічних речовин у твердому і розчиненому станах. Після змішування зі стічними водами станції жомопресування та після миття обладнання вони надходять у відстійник, а потім на поля фільтрації, де природне самоочищення стічної води відбувається за рахунок дії симбіозу природних мікроорганізмів та шляхом фільтрування у шарі ґрунту. Такий спосіб очищення призводить до неефективного використання великих площ під фільтраційні карти, втрати водних ресурсів, викидів в атмосферу шкідливих продуктів мікробіологічних процесів розкладання органічних сполук стічних вод.

Незначна кількість цукрових заводів використовують штучне біологічне очищення у ставках-накопичувачах або спеціальних спорудах – біофільтрах.

Ефективним є комплексний реагент для використання в технології очищення вод різних категорій цукрового виробництва, зокрема жомопресової, барометричної, транспортерно-мийної, води для розчинення клеровки тростинного цукру сирцю, а також для освітлення цукровмісних розчинів для поляриметричного аналізу цукровмісних продуктів. До складу реагента входять солі основного сульфату алюмінію та полігексаметиленгуанідину гідрохлориду (ПГМГХ).

В *оліє жировій промисловості* більше уваги слід приділяти заходам, спрямованим на зменшення кількості забруднювальних речовин у стічних водах, що скидаються безпосередньо у водойми. Високий ефект дає застосування реагентних методів очищення стоків (з сульфатом та основними солями Алюмінію і хлоридом кальцію), використання мембранних методів очищення води з метою усунення недоліків реагентного методу (наявність реагентів, потреба в спеціальних спорудах, проблема утилізації продукту очищення у зв'язку з видозміненням жирів тощо).

У *плодоовочевій промисловості* перспективним природоохоронним заходом є перехід на біологічні способи очищення стічних вод з використанням одноклітинної водорості хлорели.

Для *спиртової промисловості*, де більшість підприємств не мають очисних споруд, для захисту водойм від забруднення стічними водами доцільним є створення замкнених систем водопостачання з використанням очищених стічних вод у системі технічного і зворотного водоспоживання і забором свіжої води з джерел лише для господарсько-побутових потреб і підживлення оборотної системи.

У *маргариновій промисловості* найефективнішою є мембранна технологія водопідготовки і очищення стоків, що забезпечує значну економію жирів, води та енергоресурсів.

Стічні води заводів первинного виноробства відносяться до найбільш забруднених в харчовій промисловості. Вони являють собою гетерогенні багатокомпонентні системи з різким коливанням якісного і кількісного складів протягом усього періоду роботи заводу. При переробці винограду в них потрапляють залишки м'якоті і шкірки виноградної ягоди, сусло і осадки гущі. Такі води мають кислу реакцію, а до їхнього хімічного складу входять білки, редуруючі цукри, органічні кислоти, амінокислоти, біополімери і фенольні речовини.

Стічні води вторинного виноробства менш забруднені, у порівнянні з заводами первинного виноробства. Вони утворюються в основному під час прибирання приміщень, миття посуду та обладнання. На ступінь їх забруднення впливають пресовані клейові осадки, залишки вина, залишки паперу та інші забруднення зі стоків пляшкомиючих машин. Вони мають слаболужну реакцію, містять соду, луг, етиловий спирт, фенольні речовини і продукти їх поліконденсації.

Стічні води коньячного виробництва відносяться до висококонцентрованих і токсичних, які містять велику кількість органічних кислот, цукрів, поліфенолів та інших речовин, що утворюються під час отримання коньячного спирту.

У багатьох країнах ведеться пошук найбільш економічних і високоефективних способів очищення стічних вод. В основному це є поєднання класичних методів очищення з новими, які передбачають анаеробні та аеробні способи очищення з використанням їм мобілізованих мікроорганізмів.

Анаеробні процеси розкладання органічних з'єднань з отриманням біогазу та його використання для побутових цілей відомі досить давно. При цьому, метанове бродіння повинно розглядатися не тільки як засіб захисту навколишнього середовища, але і як метод отримання газоподібного палива, цінних органічних добрив і кормових добавок.

На підприємствах виноробної промисловості біогаз можна використовувати: в системах опалення будь-яких приміщень, для сушки відходів виробництва, в домашніх газових плитах, у спеціальних генераторах для виробництва електроенергії, для підігріву води, опалення теплиць, та інших цілей.

Біодеградація органічних речовин під час метанового бродіння в метантанк протікає в три після послідовної фази. У першій, гідролітичній фазі, близько 76% органічних речовин переходять у вищі жирні кислоти, до 20% – в ацетат і 4% – в водень. Вона може бути розбита на фази гідролізу та ацидогенезу (утворення кислот). У другій фазі основним процесом є утворення з вищих кислот ацетату (52%) і водню (24%). У третій фазі (бродіння) метаногенні бактерії утворюють з ацетату 72% метану, а з під водню і діоксиду вуглецю – 28% метану.

Біологічне аеробне очищення здійснюють у біофільтрах, аеротенках, на зрошувальних полях і в біологічних ставках. Біофільтри будують у вигляді залізобетонних резервуарів діаметром до 30 м і висотою: низькі – 1, 5...2 м, високі – 2...4 м і баштові – 10...20 м. На дірчасте днище резервуара накладають щебні, гальку, керамзит або градчасті блоки з пластмаси. На поверхні укладених матеріалів поселяють мікроорганізми, які харчуються органічними примусами стічних вод. Мікроорганізми перетворюють органічні речовини на низькомолекулярні органічні і неорганічні сполуки (переважно на діоксид вуглецю, метан, аміак і воду або ін.).

УкрНДІспиртбіопрод і ООО «Інтермаш» розробили технологію двоступеневої очищення стічних вод спиртових заводів, яка включає в себе анаеробно передочистку їх в метантенках з утворенням біогазу та заключне аеробне очищення. Принципова схема матеріальних потоків розробленої технології показана на рис. 9.11.

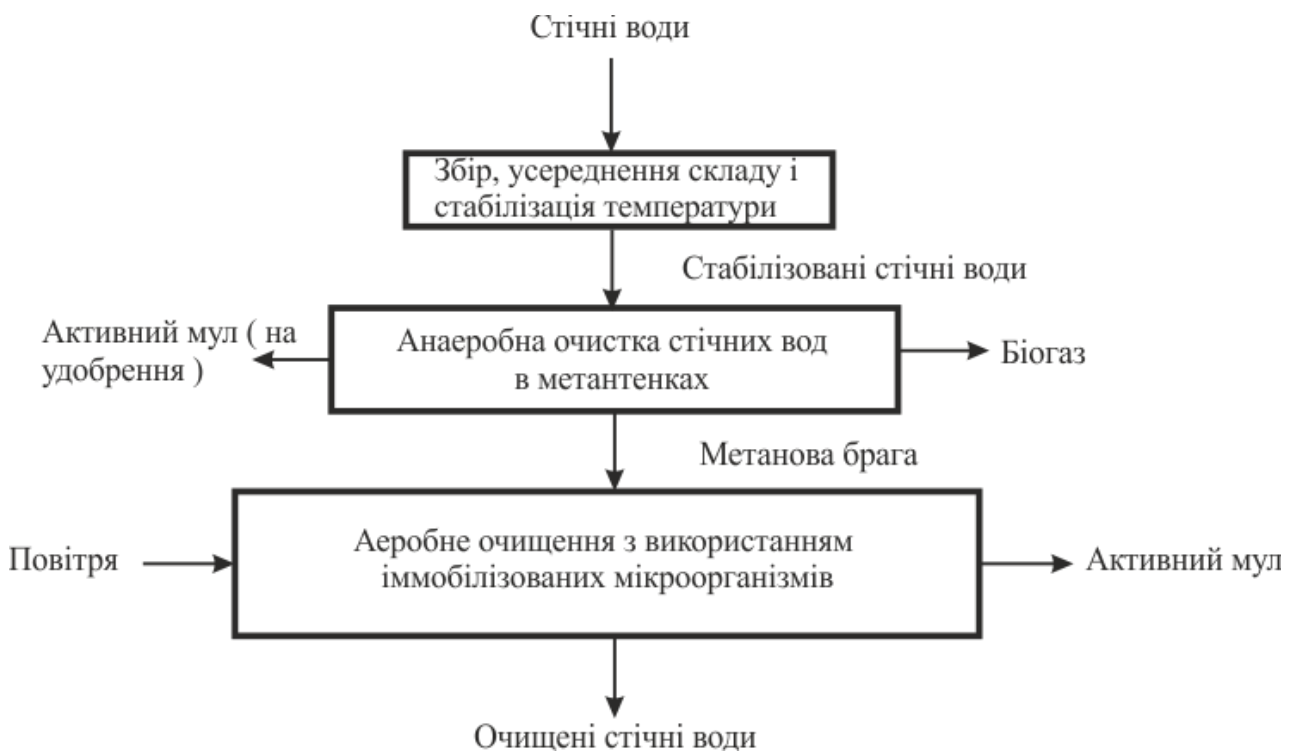


Рис. 9.11 – Схема двостадійного очищення стічних вод

Анаеробна стадія очищення концентрованих стічних вод потребує забезпечення оптимальної температури процесу 35...37°C. Під час метаногенеза утворюється біогаз, який можна утилізувати і тим самим економити витрату основного палива для забезпечення виробничих цілей.

Після анаеробної очистки стічні води будуть відноситися до класу концентрованих.

Друга заключна стадія очищення стічних вод (аеробне очищення) проводиться за допомогою повітря і мікроорганізмів, іммобілізованих на стаціонарних волокнистих носіях.

Перед класичними методами очищення стічних вод така система біологічної очистки має такі переваги: прискорений запуск системи і можливість тривалих зупинок; зменшення витрат повітря до 30%; висока стабільність очищення незалежно від концентрації забруднень в стічних водах; мінімум обладнання і простота його обслуговування; відсутність рідких відходів; стабільність в роботі при пікових навантаженнях.

Біологічне очищення стічних вод проводиться в неперериваному потоці, який підвищує продуктивність обладнання, полегшує умови роботи обслуговування персоналу, дозволяє автоматизувати всі процеси.

Інтенсифікація швидкості споживання органічних і мінеральних речовин підвищує ефективність очищення за рахунок зменшення капітальних витрат на спорудження метантенків іммобілізованих на біологічно інертному поліамідному волокнистому носії, який має добру адгезійну здатність до мікрофлори аеротенка. Іммобілізація аеробних мікроорганізмів на носієві дозволяє зменшити їх винесення з очищеними стічними водами, створити просторову сукцесію, в якій кожне утворене займає своє місце, що сприяє підвищенню ефективності очищення.

Таким чином, анаеробноаеробне очищення дозволяє зменшити забрудненість стічних вод на 98,2...99,8% відповідно. Подальша їх доочищення проводиться ціанобактеріями у фотобіореакторі або в біоставках, після чого очищені стічні води можна скидати у відкриті водойми.

Наведена технологія дозволяє очищати стічні води з будь-якою концентрацією забруднюючих речовин, скоротити тривалість очищення з 500 до 90 год., зменшити капітальні витрати на будівництво очисних споруд, отримати допоміжне паливо – біогаз і активний мул, як добриво для сільського господарства.

Утворення стічних вод є невід'ємною частиною кожного технологічного процесу на підприємствах *молочної промисловості*, але за концентрацією забруднювачів даних стічних вод можна визначати можливі шляхи їх очищення.

У молочної промисловості витрати води на підприємстві складають в середньому 20...2000 м<sup>3</sup> на добу в залежності від потужності даного заводу. Воду використовують в різноманітних технологічних процесах, для санітарно-гігієнічних цілей, в вигляді теплоносія (пара), для миття території

тощо. Вода на молочних заводах надходить із сировиною (в середньому 1,5% переробленого на підприємстві молока). Вилучаючи з неї всі корисні речовини, воду, що залишилася, можна використовувати на технічні потреби, не споживаючи чистої води взагалі. Це стосується заводів, де з молока вилучаються його складові частини. Якщо продукт готується з незбираного молока чи у вигляді вторинного продукту із сироватки, то вода, яка міститься в молоці, йде на споживання. В цьому випадку необхідна певна кількість свіжої (водопровідної) води для миття обладнання. Концентрація забруднень стічних вод різних підприємств молочної промисловості має значний діапазон коливань, що обумовлено не лише різноманітним асортиментом продукції, яка випускається, але і коливаннями виходу і забрудненості стоку протягом доби. Діапазон змін рН середовища від 3,6 до 10,4, температури – від 15 до 35°C. Вміст жирів у стічних водах цехів, що випускають продукцію з високим вмістом жиру (масло, вершки, сметану) складає 200...400 мг/л. Дисперсна фаза представлена, в основному жирами, частинками коагульованого білку: у розчиненому стані знаходяться органічні кислоти, молочний цукор. Вміст лактози в стоках коливається в межах 0,04...0,25%; жиру: 0,01...0,15%. Мікробіологічна забрудненість стоків молочних підприємств невисока і представлена, в основному, мікроорганізмами, що викликають молочнокисле, спиртове, пропіоновокисле і маслянокисле бродіння.

Отже, стоки молокопереробних підприємств, не дивлячись на значні коливання концентрації забруднюючих речовин, можуть бути вихідним субстратом для біохімічного очищення. Перед скидом стічних вод молокозаводів у водойми потрібне їх повне очищення до БСК 15...25 мг  $O_2$ /л., а у окремих випадках і більш глибоке. Очищення стоків від забруднюючих речовин на молокопереробних підприємствах має здійснюватися на локальних очисних спорудах. Існують різноманітні методи їх очищення. Основною стадією технології очищення є біохімічне розкладання (окислення) органічних речовин за допомогою асоціації мікроорганізмів. На цьому принципі заснована і традиційна технологія очищення міських (комунальних) стічних вод. Вона ж може застосовуватися і для очищення промислових (молочних) стічних вод, з обов'язковим врахуванням специфіки забруднювальних речовин стоків молокозаводів. Складність біохімічного очищення стічних вод молокозаводів за допомогою аеротенків може полягати в тому, що вони містять швидкометаболізуючу лактозу і білки, які повільно розкладаються аеробними мікроорганізмами. Такі стічні води відносяться до концентрованих за органічними забрудненнями, тобто величина ХСК в даному випадку перевищує 2000 мг  $O_2$ /л. Виходом з цієї проблеми може бути застосування комплексної анаеробно-аеробної схеми очищення стоків молочних заводів, що, як відомо, здатна нейтралізувати велику кількість забруднювачів (величина ХСК становить від 2 до 7...8 десятків тисяч мг  $O_2$ /л). Метанове бродіння використовується як попередня стадія очищення концентрованих стоків із

послідуючим обов'язковим аеробним доочищенням. При цьому утворюється велика кількість біогазу (вміст метану 60...80%). Крім цього в процесі метанового бродіння стічних вод харчових виробництв (в тому числі і молочних) утворюється значна кількість вітамінів групи В, особливо вітаміну В<sub>12</sub> (40...50 мкг на 1 г сухого активного мула), та незамінні амінокислоти, що свідчить про високу кормову цінність мулу.

В цілому, захисту навколишнього середовища для підприємств харчової промисловості має сприяти комплекс захисних заходів, які визначаються системою державних законодавчих актів, у відповідності з якими повинні виконуватися наступні дії: 1) контроль забруднення атмосфери викидами харчових підприємств; 2) архітектурно-планувальні та конструктивно-технологічні заходи; 3) очищення вентиляційного повітря димових та технологічних газів перед викидом в атмосферу.

### **9.5. Екологічні аспекти нетрадиційної енергетики**

Оцінюючи перспективи розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЖЕ), як правило, підкреслюють їхню екологічну чистоту. Це дійсно справедливо, але тільки для певних видів НВДЖЕ, хоча взагалі вони впливають певним чином на довкілля. Утім, поза сумнівом, НВДЖЕ більш прийнятні з погляду впливу на екологію, ніж джерела традиційної енергетики (ТЕС, АЕС, ГЕС, ОПК, дизельні установки та ін.).

Ширше використання НВДЖЕ пов'язане з освоєнням нових технологій перетворення енергії сонця, вітру, біомаси, гідроенергії й геотермального тепла землі. Особливу роль в енергетичній структурі НВДЖЕ на тривалу перспективу відводять гідроенергетиці, яка нині є основним видом відновлюваних джерел енергії. Екологічні напрями застосування малих ГЕС лише в окремих аспектах збігаються з проблемами традиційної гідроенергетики і не піддаються жодному порівнянню з ними.

Загальні негативні способи застосування НВДЖЕ пов'язані з проблемами землекористування, шуму, зміни ландшафту, використання нових матеріалів, виробництво яких в окремих випадках може негативно вплинути на довкілля (наприклад, одержання кремнію для сонячної енергетики), тощо. Необхідно враховувати, що характер взаємодії цих установок з довкіллям є принципово іншим за негативних дій, характерних для кожного виду НВДЖЕ. Тому аналіз можливих наслідків повинен проводитися ще на етапі їхньої розробки і проектування. Це дасть змогу уникнути помилок, допущених під час опанування традиційних енергоустановок, коли спочатку були створені технологічні принципи і лише потім, у процесі експлуатації, розпочалися пошуки шляхів подолання негативних екологічних впливів.

У процесі використання НВДЖЕ найхарактернішими з погляду дії на довкілля є такі аспекти.

Сонячна енергія. Низькотемпературні сонячні системи тепло- й

водопостачання є найпоширенішими на цей час як в індустріально розвинених, так і в країнах, що розвиваються. В екологічному аспекті для експлуатації низькотемпературних систем характерні наслідки циклу видобутку початкових матеріалів та їхньої переробки; зниження негативних впливів на довкілля, що їх роблять викиди продуктів згорання заміщених традиційних котелень; зниження теплового забруднення.

Середньо- і високотемпературні сонячні установки досі залишаються на стадії інтенсивної розробки. У світі створено декілька станцій (СЕС) з використанням розосереджених параболічних систем концентратів (загальною потужністю 400 МВт). Досвід їхньої експлуатації показав, що основним екологічним чинником для СЕС за термодинамічним циклом перетворення енергії є блокування устаткуванням значних земельних територій. Так, середню потенційну можливість СЕС такого циклу оцінюють у 30...40 МВт з 1 км<sup>2</sup>.

Вітроенергетика. Дотепер у світі нагромаджено величезний досвід щодо практичної експлуатації найрізноманітніших джерел енергії вітру. Як засвідчив досвід експлуатації, у наш час економічно доречнішими є ВЕС у діапазоні потужностей від 100 до 350 кВт. Більшість європейських країн підтримує створення ВЕС з урахуванням екологічних вимог до енергоустановок, а також проблем надійності й безпеки енергозабезпечення.

Дія вітроенергетики зумовлена такими найголовнішими екологічними чинниками, як: блокування земельних територій; шумові ефекти, що зростають із підвищенням потужності й числа вітродвигунів; висока металоємність вітроустановок, пов'язана з вимогами попереднього циклу видобутку і переробки металів; вібраційна дія на біоту; загибель великої кількості птахів під лопатями вітродвигунів.

Максимальна потужність, яку можна одержати з 1 км<sup>2</sup> площі, коливається в широких границях залежно від району використання, типу станції й технологічних особливостей конструкції (середнє значення ~10 МВт/км<sup>2</sup>). Шумовий ефект у безпосередній близькості від ВЕС може досягати 50...80 дБ, тим часом як порогова витривалість людського вуха, прийнята на основі больових відчуттів, становить 180 дБ. Окрема екологічна проблема виникає від шумової дії установок значної потужності (понад 250 кВт), коли швидкості потоку повітря на кінцях лопаток вітроколів великого діаметру є надзвуковими. При цьому з'являється інфразвуковий ефект, що негативно впливає на людину та інші біологічні суб'єкти.

Важливу роль відіграє показник витрат металу на одиницю потужності, він визначає об'єми циклу сировинної підготовки для виробництва. Залежно від рівня потужності цей показник для ВЕС орієнтовно змінюється в діапазоні 50...70 кг/кВт, причому потрібна значна кількість високоміцних матеріалів. У наш час існує тенденція замінювати елементи металевих конструкцій (насамперед, лопатей вітроколів) на склопластикові. Отже, конче необхідний екологічний аналіз наслідків хімічного виробництва, пов'язаних зі створенням тих конструкційних матеріалів.

За оцінками Всесвітнього конгресу Міжнародного товариства з проблем сонячної енергії, що відбувся в Денвері (США), якщо брати до уваги екологічні чинники, то СЕС і ВЕС уже сьогодні більш економічні, ніж ТЕС й АЕС.

Геотермальна енергія. Екологічний вплив ГеоТЕС і геотермальних технологічних установок на довкілля зводиться: до дії мінералізованих геотермальних вод і пари; до опускання земної поверхні (іноді значному за розмірами), розташованої над геотермальним шаром, який розробляється; до підвищеної (порівняно з ТЕС однакової потужності) теплової дії ГеоТЕС на довкілля.

Таким чином, розвиток геотермальної енергетики пов'язаний з досить істотними негативними екологічними наслідками. Перше – це надто висока вартість устаткування, що відбирає і перетворює геотермальне тепло, тобто висока вартість одержання енергії. Друге – значний негативний вплив на довкілля – деградація лісів і екосистем навколо родовищ, значне просідання землі після відбору води й пари з глибин, виділення газів разом з паром, сильні забруднення ґрунтів, повітря і води в місцях відбору гідротерм, а це вимагає доволі серйозного контролю. Крім того, часто гідротермальні родовища розташовуються у важкодоступних місцях.

Використовують гідротермальну енергію двома способами: обігрівають будинки, теплиці, інші будівлі та виробляють електроенергію. Це залежить від того, в якому вигляді енергія надходить із надр землі: чистої сухої пари без домішок крапельок води (у такому разі пару можна подавати безпосередньо в турбоагрегати, що виробляють електроенергію) або у вигляді суміші пари і гарячої води (водяних крапель), яку не можна прямо використовувати для виробництва електроенергії, оскільки удари крапель псують турбіну. Ба більше, геотермальна вода має підвищені корозійні властивості, а тому газо-водяну суміш, призначену для одержання електроенергії, треба заздалегідь розділяти на відцентрових сепараторах на суху пару і воду. Гарячу воду, що залишається, і від конденсовану пару також необхідно або закачувати назад у землю, або використовувати як засіб обігріву. Утім, і тут зостається проблема мінералізації геотермальних вод: велика кількість солей, що містяться в них, забруднює будь-які водоймища, труби тощо.

У складі вод, що виводяться на поверхню, знаходяться нітриди, хлориди і сульфідні деяких металів, а також небезпечні хімічні елементи (бор, арсен); сірководень (нешкідливий – у невеликих кількостях, токсичний – зі зростанням концентрації). За відсутності зворотного закачування у пласт виникає небезпека засолення ґрунтів у районі використання і падіння пластового тиску. Зміна тиску в пласті у процесі тривалої експлуатації свердловин впливає на рівень ґрунтових вод у цьому районі й може негативно позначитися на роботі артезіанських свердловин і водопостачання.

Енергія біомаси. Особливе значення джерела енергії цього типу мають для країн, що розвиваються. В енергобалансі африканських країн вони



становлять пересічно до 60%, Латинської Америки – до 30%, азіатських держав – до 40%, деяких країн Європи, Близького Сходу й Північної Африки – до 10% від загального енергоспоживання. При цьому вагомого розвитку набула переробка біомаси, заснована на процесах газифікації, піролізу й одержанні рідкого палива.

У результаті процесу ферментизації під час переробки біомаси в етанол утворюються побічні продукти, зокрема промивальні води і залишки перегонки. Останні є серйозним джерелом екологічного забруднення довкілля. Їхня маса в кілька разів (до 10) перевищує масу вироблюваного продукту, тобто етилового спирту. Становлять інтерес технології, які дають змогу у процесі очищення цих відходів одержувати мінеральні речовини, що їх використовують у хімічній промисловості, а також як мінеральні добрива.

Різноманітним напрямом утилізації органічних відходів властива, перш за все, гостра екологічна скерованість. Значною мірою вона зорієнтована на переробку відходів. Ліквідація останніх і пов'язане з нею поліпшення екологічних та санітарно-епідеміологічних умов залюдненого середовища відіграють навіть більшу роль, аніж енергетичний ефект на основі використання цього виду сировинних ресурсів. Це особливо важливо для регіонів з вологим теплим кліматом і для великих міст. Саме тут надзвичайну роль відіграє технологія ліквідації відходів, яка дає змогу одночасно використовувати їхній енергетичний потенціал.

Міні- і мікро ГЕС. Як наголошено в огляді Світової Енергетичної Ради, на основі цих установок можливе економічно рентабельне виробництво електроенергії на рівні 6,5% від наявного потенціалу гідроресурсів. Найбільше для мініГЕС важить удосконалення гідротурбін, що працюють на малих напорах. Такі установки мінімально впливають на довкілля, оскільки не потребують будівництва загат, водосховищ, берегових споруд.

Як бачимо, екологічні дії НВДЖЕ годі порівняти з наслідками негативного впливу на довкілля традиційних джерел енергії. Оцінювати їхні екологічні дії слід, виходячи із системних позицій. Треба враховувати весь комплекс різнорідних чинників, характерних для різних видів НВДЖЕ: блокування територій; вплив на екологічний процес зайнятих і прилеглих територій; вплив на флору і фауну; вивільнення хімічних та інших матеріалів; можливості використовувати ці речовини або продукти їх переробки як сировину для подальшого виробництва.

### **Запитання і завдання для самоперевірки**

1. Охарактеризуйте проблеми харчових і переробних підприємств у забезпеченні екологічності виробництва.
2. Мотивація підприємств галузі у забезпеченні екологізації виробництва.

3. Дайте оцінку екологічного стану і потенціалу харчової промисловості України.
4. Навіщо проводять екологічну експертизу харчових і переробних підприємств АПК?
5. Екологічний аудит як інструмент регулювання впливу підприємств на довкілля.
6. Еколого-економічне обґрунтування «зеленої» модернізації харчових і переробних виробництв.
7. Діяльність людей як чинник зростання кількості твердих відходів у побуті та на виробництві.
8. Склад твердих виробничих і побутових відходів та їх вплив на довкілля.
9. Відходи харчових підприємств і закладів ресторанного господарства. Напрямки їх використання та знешкодження.
10. Морфологічний склад полігонів твердих промислових і побутових відходів України.
11. Напрямки вторинної переробки твердих промислових відходів.
12. Способи утилізації дистильованої рідини у содовій промисловості.
13. Чи доцільний поділ на компоненти промислового сміття? Як його утилізувати?
14. На які класи токсичності поділяють тверді промислові відходи.
15. Застосування термічних методів обробки для знешкодження та утилізації твердих промислових відходів.
16. Застосування піролізу для виробництва енергоносіїв з твердих відходів.
17. Комплексна система управління з утилізацією твердих виробничих і побутових відходів.
18. Напрямки переробки твердих відходів у корисні матеріали і товари.
19. Особливості облаштування полігонів для складування і захоронення твердих відходів.
20. Законодавство України про обмеження можливостей підприємств, щодо утворення та розміщення твердих відходів.
21. Принципи і шляхи вирішення проблеми утилізації твердих відходів.
22. Закордонний досвід поводження з твердими відходами і вилучення з них цінних компонентів.
23. Наведіть класифікацію стічних вод. Опишіть їх склад і властивості.
24. Характеристика стічних вод основних галузей харчової і переробної промисловості.
25. Назвіть методи очищення промислових стічних вод.
26. В чому заключається механічне очищення стічних вод?
27. Коагуляція і флокуляція як способи очистки стічних вод.
28. Різновиди фільтрування як засоби очищення стічних вод.
29. Хімічне очищення стічних вод переробних і харчових підприємств.
30. Електрохімічні методи очищення стічних вод.

31. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод.
32. Які особливості очищення виробничих стічних вод методом флотації?
33. Назвіть способи очищення стічних вод від органічних домішок.
34. Роль екстракційних методів в очищенні стічних вод.
35. Які екстрагенти використовують при очищенні стічних вод?
36. Особливості застосування перегонки і ректифікації в процесах очищення стічних вод.
37. Які методи очищення стічних вод відносять до деструктивних?
38. Охарактеризуйте проблеми очищення стічних вод у цукровій промисловості.
39. Охарактеризуйте біологічні способи очищення стічних вод у плодоовочевій промисловості.
40. Особливості очищення стічних вод в олієжировій і м'ясопереробній промисловості.
41. Особливості очищення стічних вод виноробних, спиртових і кон'ячних заводів.
42. Очищення стічних вод з залученням іммобілізованих мікроорганізмів.
43. В чому закладається двохступеневе очищення стічних вод за технологією УкрНДспиртбіопрод?
44. В чому закладається двохступеневе очищення стічних вод м'со- і молокопереробних підприємств?
45. Комплексна анаеробно-аеробна схема очищення стоків м'сокомбінатів і молочних засодів.

## ДОДАТКИ

### Додаток 1. Таблиці переведення фізичних величин

Таблиця 1

#### Переведення одиниць вимірювання площі

Перерахунок	В							
	см <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>	км <sup>2</sup>	дюйм <sup>2</sup>	фут <sup>2</sup>	ярд <sup>2</sup>	акр	миля <sup>2</sup>
см <sup>2</sup>	1	0,0001	–	0,155	0,001076	0,0001196	–	–
м <sup>2</sup>	10000	1	0,000001	1550	10,7639	1,19599	0,0002471	–
км <sup>2</sup>	–	1000000	1	–	–	–	247,105	0,386102
дюйм <sup>2</sup>	6,4516	0,000645	–	1	0,006944	0,000772	–	–
фут <sup>2</sup>	929,03	0,092903	–	144	1	0,111111	0,000023	–
ярд <sup>2</sup>	8361,27	0,836127	–	1296	9	1	0,0002066	–
акр	–	4046,86	0,004047	–	43560	4840	1	0,001562
миля <sup>2</sup>	–	–	2,589987	–	–	–	640	1

Таблиця 2

#### Переведення одиниць вимірювання маси

Перерахунок	В						
	кг	тона	фунт	Англ. cwt	Англ. тона	Амер. cwt	Амер. тона
кг	1	0,001	2,20462	0,019684	0,000984	0,022046	0,001102
тонна	1000	1	2204,62	19,6841	0,984207	22,0462	1,10231
фунт	0,453592	0,000454	1	0,008929	0,000446	0,01	0,0005
Англ. cwt	50,8023	0,050802	112	1	0,05	1,12	0,056
Англ. тона	1016,05	1,01605	2240	20	1	22,4	1,12
Амер. cwt	45,3592	0,045359	100	0,892857	0,044643	1	0,05
Амер. тона	907,185	0,907185	2000	17,8517	0,892857	20	1

Таблиця 3

#### Переведення одиниць вимірювання енергії

Перерахунок	В				
	Btu	Терм	Дж	кДж	кал
Btu	1	0,00001	1055,06	1,055	251,996
терм	100000	1	–	105 500	25 199 600
Дж	0,00094	–	1	0,001	0,2388
кДж	0,9478	0,000009478	1000	1	238,85
Кал	0,0039683	0,0039683 x 10 <sup>-5</sup>	4,1868	–	1

Таблиця 4

## Переведення одиниць вимірювання об'єму

Перерахунок	В									
	см <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	літр (дм <sup>3</sup> )	дюйм <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>	ярд <sup>3</sup>	UK пінта	UK галон	US пінта	US галон
см <sup>3</sup>	1	–	0,001	0,061024	0,0000353	–	0,001760	0,00022	0,002113	0,000264
м <sup>3</sup>	–	1	1000	61023,7	35,3147	1,30795	1759,75	219,969	2113,38	264,172
літр (дм <sup>3</sup> )	1000	0,001	1	61,0237	0,035315	0,001308	1,75975	0,219969	2,11338	0,264172
дюйм <sup>3</sup>	16,3871	–	0,016387	1	0,0005787	0,0000214	0,028837	0,003605	0,034632	0,004329
фут <sup>3</sup>	28316,8	0,028317	28,3168	1728	1	0,037037	49,8307	6,22883	59,8442	7,48052
ярд <sup>3</sup>	764555	0,764555	764,555	46656	27	1	1345,429	168,1784	1615,793	201,974
UK пінта	568,261	0,0005683	0,568261	34,6774	0,020068	0,000743	1	0,125	1,20095	0,150119
UK галон	4546,09	0,0045461	4,54609	277,42	0,160544	0,005946	8	1	9,6076	1,20095
US пінта	473,176	0,0004732	0,473176	28,875	0,01671	0,000619	0,832674	0,104084	1	0,125
US галон	3785,41	0,0037854	3,785411	231	0,133681	0,004951	6,661392	0,832674	8	1

Таблиця 5

## Переведення одиниць вимірювання тиску

Перерахунок	В							
	атм	мм рт.ст.	мбар	бар	паскаль	дюйм вод.ст.	дюйм рт.ст.	psi
атм	1	760	1013,25	1,0132	101325	406,781	29,9213	14,6959
мм рт.ст.	0,0013158	1	1,33322	0,001333	133,322	0,53524	0,03937	0,019337
мбар	0,0009869	0,750062	1	0,001	100	0,401463	0,02953	0,014504
бар	0,9869	750,062	1000	1	100000	401,463	29,53	14,504
паскаль	0,0000099	0,007501	0,01	0,00001	1	0,004015	0,0002953	0,000145
дюйм вод.ст.	0,0024583	1,86832	2,49089	0,002491	249,089	1	0,073556	0,036127
дюйм рт.ст.	0,033421	25,4	33,8639	0,0338639	3386,39	13,5951	1	0,491154
фунт/дюйм <sup>2</sup>	0,068046	51,7149	68,9476	0,068948	6894,76	27,6799	2,03602	1

Таблиця 6

## Переведення одиниць вимірювання потужності

Перерахунок	В			
	Втu/час	Вт	ккал/час	кВт
Втu/час	1	0,293071	0,251996	0,000293
Вт	3,41214	1	0,859845	0,001
ккал/час	3,96832	1,163	1	0,001163
кВт	3412,14	1000	859,845	1

Таблиця 7

## Переведення одиниць вимірювання теплоти

Перерахунок	В	
	Btu/lb °F	Дж/кг °С
Btu/lb °F	1	4186,8
Дж/кг °С	0,00023	1

Таблиця 8

## Переведення одиниць вимірювання коефіцієнта теплопередачі

Перерахунок	В		
	Btu/ft <sup>2</sup> год	Вт/м <sup>2</sup>	ккал/м <sup>2</sup>
Btu/ft <sup>2</sup> год	1	3,154	2,712
Вт/м <sup>2</sup>	0,3169	1	0.859
ккал/м <sup>2</sup>	0,368	1,163	1

Таблиця 9

## Переведення одиниць вимірювання теплоємності

Перерахунок	В	
	Btu/фунт	кДж/кг
Btu/фунт	1	2,326
кДж/кг	0,4299	1

## Додаток 2

## Насипна густина подрібненої деревини з вологістю 3 – 5 %

Асортимент подрібненої деревини	Насипна густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Тріска після переробки крупної деревини	250-315
Тріска після переробки горбулів і рейок	200 250
Подрібнені частинки, отримані в молотковій дробарці:	
довга	140
середня	170
коротка	200
Тирса	120 – 140
Стружка, отримана від обробки деревини на верстатах	90
Деревинний порошок	200 – 250

### Додаток 3

#### Елементний склад деревини і деревного вугілля

Назва породи	C, %	H, %	(O + N), %
Ялина	52,1	5,9	39,3
Деревне вугілля з неї	80,8	3,9	14,7
Береза	57,6	6,7	34,6
Деревне вугілля з неї	81,4	4,1	15,3

### Додаток 4

#### Теплохімічні характеристики палива

Паливо	Елементний склад горючої маси, %					V
	C <sup>r</sup>	H <sup>r</sup>	N <sup>r</sup>	O <sup>r</sup>	S <sup>r</sup>	%
Деревинний горох	51,5	6,7	0,7	41,0	0,1	82
Донецьке вугілля марки:						
Д	75,5	5,5	1,6	13,1	4,3	44
Г	81,0	5,4	1,5	8,7	4,4	40
ПА	91,0	3,5	1,3	1,5	2,7	4
Волинське вугілля Г	79,583	5,2	1,3	10,3	3,7	39
Міжреченське вугілля Ж Коломийське	69,5	5,7	1,1	6,0	4,2	38
вугілля Б Олександрійське вугілля Б	67,5	5,6	1,2	19,8	3,9	51,5
		5,8	0,9	19,9	5,9	58,5
Відходи деревини з W ≤ 40 %	51	4,9	1,0	43,2	–	77
Відходи деревини з W > 40 %	51	4,9	0,8	43,3	–	75
Кора твердолистових порід Стружка і тирса	66,4	4,9	1,0	27,7	–	79
Тирса гнукотлеєних виробів	50,9	4,9	1,0	42,1	–	76
Торф кусковий	62	4,8	2,5	34,7	0,3	79
Солома	52	6,0	1,0	42,1	0,1	
Мазут 200 малосірчаний	45	5,6	0,5	45		
	86,1	10,6	0,8	32,4	2,8	

## Додаток 5

### Вихід біогазу з різних речовин

п/п	Сировина	Вихід біогазу з 1 кг сухої речовини, м <sup>3</sup> /кг	Вміст СН <sub>4</sub> в біогазі, %
1.	Трава	0,63	70
2.	Листя дерев	0,21...0,294	59
3.	Соснові гілки	0,037	69
4.	Листя картоплі	0,42	60
5.	Стебла картоплі	0,42	53
6.	Солома	0,342	58
7.	Солома льняна	0,359	59
8.	Твердий гній	0,2...0,3	60
9.	Кінський гній	0,25	58
10.	Домашні відходи та сміття	0,6	50
11.	Фекальні осади	0,25...0,312	60
12.	Тверді залишки	0,57	70

## Додаток 6

### Коефіцієнти перерахунку різних видів палива в умовне паливо

Вид палива	Одиниці вимірювання	ГДж	МВт	т умовного палива в перерахунку на нафту	т/м <sup>3</sup> (або т/м <sup>3</sup> насипного об'єму)
Сира нафта	т	41,868	11,63	1,00	0,855
Мазут	т	40,60	11,278	0,970	0,955
Легке дистильоване паливо	т	42,5	11,806	1,015	0,845
Вугілля	т	25,211	7,003	0,602	0,800
Кокс	т	29,30	8,139	0,700	0,750
Природний газ	1000 м <sup>3</sup>	36,00	10,00	0,860	0,732
Дрова деревина (береза)	м <sup>3</sup> штабельованої деревини	5,40	1,50	0,129	0,400
Тирса	м <sup>3</sup> насипної деревини	2,16	0,60	0,052	0,300
Гранульована деревина	т	17,3	4,80	0,472	0,670
Кора	м <sup>3</sup> насипної деревини	2,52	0,70	0,060	0,350



## ЛІТЕРАТУРА

1. Біопалива: Технології, машини, обладнання / В.О. Дубровін, М.О.Корчемний, І.П.Масло та інші К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
2. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад: Науково-методичні рекомендації щодо впровадження передового досвіду аграрних підприємств Польщі, Литви та України зі створення новітніх об'єктів біоенергетики, ефективного виробництва і використання біопалив / За ред. Дубровіна В.О., Анни Гжибек та Любарського В.М. – Kaunas: IAE LUA, 2009. – 120 с.
3. V. Dubrovin, M. Melnychuk. Agricultural & environmental engineering for Bioenergy Production / Proceedings of the 33TH CIOSTA & 5TH cigr Conference. – Reggio Calabria. – 2009. – Vol. 2. – P. 1121-1123.
4. Валентас К.Д. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов: Пер. с англ./ К.Д. Валентас, Є. Ротштейн, Р.П. Сингх. – С.Пб.: Профессия. – 2004. – 848 с.
5. Г. Гелетуша, С. Кудря. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Україна // Зелена енергетика. – 2005. – № 18 – С. 8-10.
6. Горбунов Д. Е. Инновационный подход к производству альтернативных видов топлива из древесных отходов [Текст] / Д. Е. Горбунов // Инновационная деятельность. – 2010. – № 3. – С.75-77.
7. Калетник Г.М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. / Г.М. Калетник. // Вісник аграрної науки. – 2009. – №8. – С. 62-64.
8. Найда В. Г. Один из возможных вариантов решения проблемы современной энергетики [Текст] / В. Г. Найда // Вестник развития науки и образования. – 2011. – № 6. – С. 3-9.
9. Превращение органических отходов сельского хозяйства в топливо для альтернативной энергетики [Текст] / С. М. Абрамов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 1. – С. 8-11.
10. Сergygin O.O. Енерго- і ресурсоощадні технології: конспект лекцій з дисципліни «Енерго- і ресурсоощадні технології» для студентів напряму підготовки 0917 «Харчова технологія та інженерія» для денної та заочної форм навчання. / О.О. Осьмак, О.О. Твердохліб, Д.В. Риндюк, – К.: НУХТ, 2011. – 71 с.
11. Цыганков С.П. Биоэтанол в Украине: реалии и перспективы // Нефтяное обозрение: Терминал. – 2009. – № 47 (477). – С. 6-7.
12. Щербина О. М. Енергія для всіх: техн. довід. з енергоощад. та відновних джерел енергії / Олександр Щербина. – Вид. 4-е, доп. і перероб. – Ужгород: Вид-во Валерія Падяка, 2007. – 336 с.
13. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учеб. для вузов. – М.: АСВ, 2004. – 704с.
14. Національна стратегія поводження з твердими побутовими

виходами в Україні // Звіт про існуючу ситуацію в секторі та стратегії питания. – К.: Квітень 2004 р.

15. Кюрчев В.М. Альтернативне паливо для енергетики АПК: посібн. / Кюрчев В.М., Дідур В.А, Грачова Л.І. ; за ред. В.А. Дідура. – К.: Аграрна освіта, 2012. – 416 с.

16. Вірьовка М.І. Фізико-хімічні властивості альтернативного пального на основі рослинних олій / М.І. Вірьовка // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2002. – Вип. 86. – С. 290-294.

17. Дубровін В.О. Розвиток технологій використання рослинницької продукції на енергетичні потреби в Україні / В.О. Дубровін // Аграрна наука і освіта. – 2004. – Т.5. – № 1-2.– С. 86-91.

18. Будакова Э.Д., Миронова И.В., Нигматьянов А.А. Применение отходов пивоварения в производстве комбикормов // Интеграция аграрной науки и производства: состояние, проблемы и пути решения: матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием в рамках XVIII Междунар. специализированной выст. «АгроКомплекс – 2008». – Ч. IV. – С. 211-214.

19. Воротников И.Л., Петров К.А., Кононыхин В.В. Ресурсосберегающее развитие перерабатывающих отраслей АПК // Экономика с.-х. и перераб. предприятий. – 2010. – №10. – С. 21-23.

20. Горохов Д.Г., Бабурина М.И., Иванкин А.Н. Биодизельное топливо из животных жиров // Мясная индустрия. – 2008. – № 11. – С. 60-63.

21. Кузьмина Р.И., Штыков С.Н., Панкин К.Е. и др. Высоко-температурная переработка пищевых отходов // Пищевая пром-сть. – 2010. – № 7. – С. 20-21.

22. Лебедев Е.И. Безотходные технологии пищевых производств – М: Пищепромиздат. – 2002. – 352 с.

23. Мхитарян Г.А., Леснов А.П., Ткаченко В.М. Современные технологии переработки свекловичного жома // Сахарная свекла. – 2009. – № 2. – С. 33-35.

24. Чичкин А. Комплексная переработка отходов сельского хозяйства // Техника и оборуд. для села. – 2010. – № 7. – С. 29-30.

## ЗМІСТ

Вступ	3
РОЗДІЛ 1. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	4
1.1. Поняття «ресурсозбереження» в інноваційних технологіях харчової промисловості	4
1.2. Організаційно-економічне забезпечення та мотивація процесу ресурсозбереження	11
1.2.1. Аналіз складових мотивації ресурсозбереження в Україні	12
1.3. Економічна оцінки ефективності ресурсощадних технологій в «ресурсономічному» контексті	19
1.4. Енергія – головна проблема сучасності	28
Запитання і завдання для самоперевірки	29
РОЗДІЛ 2. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ	30
2.1. Природні ресурси	30
2.2. Викопне органічне паливо	31
2.3. Склад і характеристики органічного палива	35
2.4. Нетрадиційні і відновлювані енергоресурси	39
Запитання і завдання для самоперевірки	41
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В ЕНЕРГЕТИЦІ	42
3.1. Роль органічного палива і основи теорії горіння	42
3.2. Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива	44
3.3. Характеристика шкідливих речовин у продуктах згорання палива та їхній вплив на довкілля	49
3.4. Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива	52
Запитання і завдання для самоперевірки	56
РОЗДІЛ 4. АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА	57
4.1. Відновлювані джерела енергії	57
4.2. Геліоенергетика	62
4.2.1. Перетворення сонячної енергії в теплову	64
4.2.2. Пряме перетворення сонячної енергії на електричну	68
4.2.3. Потенціал і перспективи використання сонячної енергії	70
4.3. Вітроенергетика та мала гідроенергетика	72
4.3.1. Потенціал і перспективи розвитку вітроенергетики	72
4.3.2. Мала гідроенергетика	78
4.4. Біоенергетика	81
4.5. Інші нетрадиційні природні джерела енергії	89
4.5.1. Геотермальна енергія	89
4.5.2. Енергія світового океану	94
4.5.3. Енергія інших природних об'єктів	100
Запитання і завдання для самоперевірки	102

РОЗДІЛ 5. ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ	103
5.1. Класифікація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР)	103
5.2. Стан використання ВЕР	106
5.3. Ефективність застосування ВЕР	111
Запитання і завдання для самоперевірки	113
РОЗДІЛ 6. ХАРАКТЕРИСТИКА ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ ТА ВІДХОДІВ ОСНОВНИХ ГАЛУЗЕЙ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	114
6.1. Цукрова галузь	115
6.1.1. Енергозатратність виробництва та аналіз теплоспоживання на цукровому підприємстві	115
6.1.2. Характеристика вторинних ресурсів цукрової галузі	119
6.1.3. Кількість та напрямки використання вторинних сировинних ресурсів і відходів	121
6.1.4. Технології переробки вторинних сировинних ресурсів та відходів	124
6.2. Виноробство	133
6.3. Галузь пивоваріння	140
6.3.1. Характеристика вторинних ресурсів пивоварного виробництва	140
6.3.2. Технології переробки вторинних ресурсів пивоварного виробництва	145
6.4. Олійно-жирова галузь	157
6.4.1. Характеристика вторинних ресурсів олійно-жирової промисловості	157
6.4.2. Технології переробки вторинних ресурсів олійно-жирової промисловості	164
6.5. Зернопереробна та спиртова галузі	171
6.5.1. Відходи зернопереробної галузі	171
6.5.2. Відходи спиртової галузі	174
6.6. Відходи агропромислового комплексу	184
6.6.1. Суть, структура та особливості функціонування агропромислового комплексу в Україні	184
6.6.2. Відходи агропромислового комплексу України. Класифікація.	192
6.6.3. Біомаса	196
6.6.4. Відходи тваринництва та птахівництва	204
6.6.5. Відходи рослинництва	207
Запитання і завдання для самоперевірки	222
РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З ВІДХОДІВ ХАРЧОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ ТА АГРАРНОГО КОМПЛЕКСУ	224
7.1. Біогаз	224
7.1.1. Історія освоєння виробництва і використання біогазу	224
7.1.2. Розвиток біогазових технологій у країнах Європейського Союзу та світу	225
7.1.3. Біогазові технології в Україні	228
7.1.4. Основні види сировини для генерації біогазу	232
7.1.5. Опис технологічного процесу утворення біогазу	234

7.1.6.	Генерація біогазу з полігонів твердих побутових відходів	237
7.1.7.	Генерація біогазу з відходів тваринництва і птахівництва	242
7.1.8.	Генерація біогазу з відходів рослинництва	244
7.2.	Біодизель	246
7.2.1.	Сьогодення і перспективи виробництва біодизельного палива в Україні	246
7.2.2.	Процеси переробки рослинної олії для виробництва біодизельного палива	254
7.2.3.	Сучасні технології виробництва біодизелю	266
7.3.	Біоетанол. Перспективи виробництва та використання	282
7.3.1.	Сировина для виробництва біоетанолу	290
7.3.2.	Технології виробництва біоетанолу	292
7.4.	Тверде біопаливо	302
	Запитання і завдання для самоперевірки	311
<b>РОЗДІЛ 8. ТЕПЛОВІ НАСОСИ – АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ</b>		313
8.1.	Стан, потенціал і перспективи розвитку тепло насосної технології	313
8.2.	Термодинамічні основи роботи і характеристики теплових насосів	315
8.3.	Напрями використання і класифікація теплових насосів	321
8.4.	Головні типи теплових насосів	325
8.5.	Використання низькопотенціальних ВЕР на основі ТНУ	328
	Запитання і завдання для самоперевірки	334
<b>РОЗДІЛ 9. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕСУРСРОЦАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ</b>		336
9.1.	Проблеми вітчизняних харчових виробництв екологічного характеру	336
9.2.	Оцінка екологічного стану і потенціалу харчової промисловості України	337
9.3.	Тверді побутові відходи	345
9.3.1.	Характеристика та проблеми утилізації твердих побутових відходів	345
9.4.	Стічні води. Методи та способи очистки стічних вод	376
9.4.1.	Класифікація стічних вод	376
9.4.2.	Склад та властивості стічних вод	377
9.4.3.	Методи очистки промислових стічних вод	379
9.4.4.	Проблеми очищення стічних води деяких галузей харчової промисловості	392
9.5.	Екологічні аспекти нетрадиційної енергетики	398
	Запитання і завдання для самоперевірки	401
	Додатки	404
	Література	409
	Зміст	411

Навчальне видання

Серьогін Олександр Олександрович  
Осьмак Олексій Олексійович  
Риндюк Дмитро Вікторович

# **РЕСУРСОЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Редактор  
Художнє оформлення  
Комп'ютерна верстка

Підп. до друку Формат  
Обл.-вид. арк. . Ум. друк. арк. . Гарнітура  
Друк офсетний. Наклад 200 прим. Вид. № 00/18. Зам. №

НУХТ. 01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68.  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК №1786 від 18.05.04 р.