

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

**Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого**  
**Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки**

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту

\_\_\_\_\_ Сергій Блаженко  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Валентин Петренко  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 144 Теплоенергетика \_\_\_\_\_  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Теплоенергетика та енергоефективні технології \_\_\_\_\_

на тему: Мета і можливість використання пароструминних компресорів  
для оптимального регулювання систем теплоенерговикористання цукрового заводу.

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-2-10М

\_\_\_\_\_ Руденко Артем Миколайович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Прядко Микола Олексійович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержувавнедозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

\_\_\_\_\_ (підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2022 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЕХТ**

проф. Петренко В.П.

“01” листопада 2021 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Руденка Артема Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мета і можливість використання пароструминних компресорів для оптимального регулювання систем теплоенерговикористання цукрового заводу.

керівник роботи к.т.н., проф. Прядко Микола Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “02”11.2021 року № 869-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 10.02.2022 року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

матеріали переддипломної практики, опрацювання матеріалів для проектування технологічного обладнання цукрових заводів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Особливості систем теплоенергоспоживання цукрових заводів

2. Термодинамічний аналіз роботи ПК та аналіз витрати пари на ВУ та її продуктивності, для різних варіантів використання ПК

3. Методика визначення коефіцієнта інжекції ПК

4. Розрахунок схеми теплоенерговикористання цукрового заводу з використанням пароструминного компресора

5. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу

схеми використання ПК у ВУ , презентація Power Point – 10 слайдів

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.11.2021

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування вступу	17.11-18.11.21	Виконано
2	Термодинамічний аналіз роботи ПК	18.11-25.11.21	Виконано
3	Особливості систем теплоенергоспоживання цукрових заводів	30.11-05.12.21	Виконано
4	Методика визначення коефіцієнта інжекції ПК	06.12-15.01.22	Виконано
5	Розрахунок схеми теплоенерго-використання цукрового заводу з використанням пароструминного компресора	16.01-29.01.22	Виконано
6	Охорона праці	29.01-31.01.22	Виконано
7	Оформлення презентації роботи	01.02-04.02.22	Виконано

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Руденко А.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Прядко М.О.  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

**Руденко А.М. \_\_Мета і можливість використання пароструминних компресорів для оптимального регулювання систем теплоенерго-використання цукрового заводу. Спец . 144 Теплоенергетика , ОП Теплоенергетика та енергоефективні технології, НУХТ, Київ 2022.**

В даній магістерській роботі розраховано систему теплоенергоспоживання цукрового заводу із застосуванням пароструминних компресорів (ПК) для стиснення пари і-го корпусу випарної установки.

Проектом передбачені:

- обґрунтування можливості застосування ПК в системі теплоенерго-використання цукрового заводу;
- регулювання роботи випарної установки за допомогою пароструминних компресорів;
- термодинамічний аналіз робочих процесів в ПК .

В проєкті представлено:

- розрахунок варіанту стиснення вторинної пари 5-го корпусу випарної установки до параметрів вторинної пари після 3-го, 2-го та 1-го корпусів;
- визначення коефіцієнта інжекції
- тепловий розрахунок нахиленої шнекової дифузійної установки;
- розрахунок витрати пари на підігрівники, вакуум-апарати та інші споживачі;

Ключові слова: пароструминний компресор, коефіцієнт інжекції, випарна установка, вторинна пара, термодинамічний аналіз.

## Зміст

Вступ.....	
Розділ 1 Особливості систем теплоенергоспоживання цукрових заводів .....	
1.1. Випарна установка (ВУ) в системі теплоенерговикористання цукрового заводу.....	
1.2. Регулювання продуктивності на прикладі 5-ти корпусної ВУ з відборами вторинної пари.....	
1.3. Регулювання продуктивності ВУ на базі використання механічних компресорів.....	
1.4. Ліквідація дефіциту продуктивності ВУ, пов'язану з використанням МК для стиснення вторинної пари вакуум-апаратів.....	
Розділ №2. Термодинамічний аналіз роботи ПК та аналіз витрати пари на ВУ та її продуктивності, для різних варіантів використання ПК.....	
2.1 Термодинамічний аналіз роботи ПК.....	
2.2 Аналіз витрати пари на ВУ та її продуктивності, для різних варіантів використання ПК.....	
2.2.1 ПК стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 1-го корпусу.....	
2.2.2 ПК стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 2-го корпусу ВУ.....	
2.2.3 ПК стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 3-го корпусу ВУ.....	
Розділ №3. Методика визначення коефіцієнта інжекції ПК.....	
3.1 Порядок визначення коефіцієнта інжекції.....	
Розділ №4. Розрахунок схеми теплоенерговикористання цукрового заводу з використанням пароструминного компресора.....	
4.1. Тепловий розрахунок нахиленої шнекової дифузійної установки.....	
4.2. Організація нагрівання напівпродуктів в підігрівниках, визначення витрати теплоти і пари на підігрівники.....	
4.2.1 Визначення витрати пари на вакуум-апарати.....	
4.3. Складання принципової схеми відведення, збирання і використання конденсатів.....	
4.4 Визначення концентрацію розчину на виході з корпусів ВУ.....	
4.5 Уточнення температурного режиму на випарній установці.....	
4.6 Визначення витрати теплової енергії та необхідної теплової потужності для забезпечення технологічних потреб цукрового заводу.....	
4.7 Забезпечення цукрового заводу технологічною парою.....	
Розділ №5. Охорона праці.....	

## Вступ

Багаторічна науково-практична робота, яка виконувалась в Національному університеті харчових технологій під керівництвом проф. Володимира Дмитровича Попова (основний виконавець, кандидат технічних наук України) та у Всесоюзному науково-дослідному інституті цукрової промисловості під керівництвом кандидата технічних наук Моісея Львовича Вайсмана та доктора технічних наук Віталія Назаровича Гороха, заклала надійні науково-технічні основи широкого впровадження пароструминних компресорів в теплотехнологічні схеми цукрових заводів.

Пароструминні компресори відрізняються простою конструкцією, низькою вартістю, малими витратами на ремонт та експлуатацію та високою надійністю в роботі. Водночас вони досить економічні. Оскільки процес стиснення пари здійснюється в них лише за рахунок перетворення внутрішньої енергії парових потоків, практично без будь-яких втрат тепла в навколишнє середовище. Тому використання пароструминних компресорів виявляється вигідним у більшості випадків, коли за виробничими умовами доводиться редукувати свіжу пару в кількості, достатньому для їх роботи.

Основним чинником, що вплинув на нешироке впровадження ПК, стала неможливість їх належного навантаження головним чином через малу різницю необхідної кількості технологічної пари та кількості технологічної пари, яку одержуємо після парових турбін ( $D_{\text{тех}} - D_{\text{турб}}^{\text{техн}}$ ), а також через низькі значення коефіцієнта інжекції  $U$ .

Нами планується проаналізувати можливості навантаження пароструминного компресора на основі:

- Сучасних досягнень в застосуванні витрати пари на технологічні потреби та характерні зміни витрати електричної енергії на переробку буряків.
- Збільшення параметрів пари після парових котлів до 90 бар і 510 °С
- Впливу температурного режиму на випарній установці при стисненні пари до тиску, що надходить у ВУ вторинної пари 1-го, 2-го, 3-го корпусів ВУ.

## Розділ №1. Особливості систем теплоенергоспоживання цукрових заводів

### ВАРІАНТ для ВУ з ПК

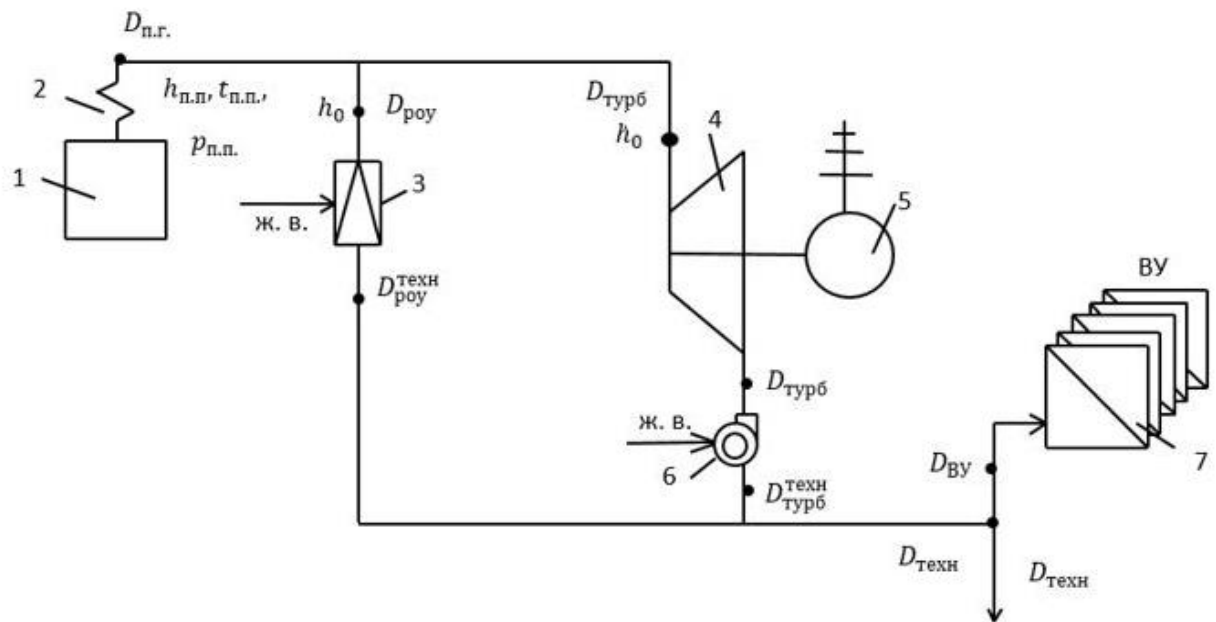


Рис.1.1 Принципова схема тепlopостачання цукрового заводу

Переробка цукрових буряків з метою одержання цукру пов'язана з вагомим споживанням енергетичних ресурсів. В умовах роботи цукрових заводів реалізація теплотехнологічного процесу переробки однієї тонни цукрових буряків вимагає в межах 220-300 кг технологічної пари, а також біля 24-30 кВт·год електричної енергії. Рациональне забезпечення заводу зазначеною кількістю енергоресурсів здійснюється енергетичним комплексом заводу, який включає в себе джерела виробництва теплової та електричної енергії та розвинену і досконалу систему теплоенерговикористання.

Як джерело теплової і електричної енергії всі цукрові заводи використовують ТЕЦ, а заводські системи використання теплоти базуються на багатокорпусних випарних установках (ВУ), які являються основними споживачами технологічної пари, що надходить з ТЕЦ[1].

На (рис.1.1) в найбільш узагальненому вигляді представлено основне обладнання, яке забезпечує виробництво технологічної пари для заводу, а саме:

1. Парогенератори ТЕЦ, що виробляють енергетичну пару з параметрами

$h_{п.п.}$  — ентальпія виробленої парогенераторами пари,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

$t_{п.п.}$  — температура перегрітої пари, та її тиск  $p_{п.п.}$ .

В основному цукрові заводи оснащені барабанными вертикально-водотрубними, з природною циркуляцією парогенераторами, що виробляють енергетичну пару тиском 40 бар і температурою 450°C. Нормами технологічного проектування ТЕЦ цукрових заводів передбачені можливі втрати тиску від вихідного колектора пароперегрівника парового котла до стопорного клапана парової турбіни в розмірі до 5-ти бар при русі номінальних кількостей пари до споживачів. А також втрати теплоти, які еквівалентні зменшенню температури перегрітої пари у розмірі 15°C.

В парогенераторі хімічна енергія палива перетворюється в теплову енергію, що відводиться з нього з одержаною енергетичною парою.

2. Пароперегрівники парогенераторів розмаїтих конструкцій з пристроями для регулювання температури перегрітої пари з її відхиленням від номінальних значень в межах  $\pm 10^\circ\text{C}$ .
3. Редукційно-охолоджувальна установка (РОУ), в якій енергетична пара, що надійшла після парогенераторів, з початковими параметрами: ентальпія  $h_0$ , тиск пари на виході з котлів  $p_{\text{п.п.}}$ , має тиск  $p_0 = p_{\text{п.п.}} - \Delta p$ , бар, (де  $\Delta p$  — розрахункові втрати тиску енергетичною парою при її русі від парогенератора до РОУ і парової турбіни) дроселюється (редукується) до тиску пари після парової турбіни,  $p_{\text{прот.}}$ . Після того редукована пара охолоджується живильною водою (на схемі — ж.в.) після живильних насосів (ця вода має найбільший тиск, потрібний для її максимального подрібнення в спеціальних розпилюючих форсунках охолоджувальної установки) до стану сухої насиченої пари, і має тиск, однаковий з тиском технологічної пари, яку одержують після охолоджувальної установки парових турбін. РОУ працює тоді, коли технологічної пари після ОУ турбіни недостатньо для забезпечення технологічних потреб.
4. Турбогенератор, що включає в себе парову турбіну, в якій теплова енергія пари, що надійшла з парогенераторів, перетворюється в механічну енергію обертання ротора турбіни, а також електричний генератор, в якому механічна енергія обертання ротора генератора (він жорсткою муфтою або через редуктор з'єднаний з ротором парової турбіни) перетворюється в електричну енергію.
5. Охолоджувальна установка, в якій перегріта пара, яка виходить з проточної частини турбіни, по аналогії з РОУ, охолоджується до стану сухої насиченої пари, яка як основна кількість технологічної пари подається в завод.
6. Багатокорпусна випарна установка — основний споживач технологічної пари, що надходить з ТЕЦ в завод.

Потреба заводу в технологічній парі  $D_{\text{техн.}}$  (її стан — суха насичена пара) може забезпечуватися лише технологічною парою після ОУ турбіни  $D_{\text{турб}}^{\text{техн}}$ ,

тоді

$$D_{\text{техн.}} = D_{\text{турб}}^{\text{техн}}.$$

В такому випадку дана турбогенераторна установка працює за тепловим графіком. В умовах вітчизняних цукрових заводів кількість електричної енергії, виробленої турбогенератором, коли він працює за тепловим графіком, може перевищувати потребу заводу і надлишок електричної енергії можливо передати в електричну мережу.

При роботі ТЕЦ за електричним графіком кількість технологічної пари після парової турбіни,  $D_{\text{турб}}^{\text{техн}}$ , яка залежить від електричного навантаження турбогенератора, може бути меншою потреби заводу в технологічній парі  $D_{\text{техн.}}$ . В цьому випадку різниця:

$$\Delta D_{\text{техн.}} = D_{\text{техн.}} - D_{\text{турб}}^{\text{техн}} \quad (1,1)$$

забезпечується роботою РОУ, після якої необхідно одержати пару у кількості:

$$\Delta D_{\text{техн.}} = D_{\text{РОУ}}^{\text{техн}} \quad (1,2)$$

### 1.1. Випарна установка (ВУ) в системі теплоенерговикористання цукрового заводу[3]

Очищений дифузійний сік у кількості  $S_{\text{пву}}$  надходить в збірник соку перед ВУ, маючи концентрацію сухих речовин в межах  $СР_{\text{пву}}=13-16 \%$ .

Наступним етапом цукрової теплотехнології є необхідність збільшення концентрації сухих речовин в соку до концентрації утфелю 1-го продукту, тобто до 92-93 %.

Зазначене концентрування соку залежить від сухих речовин на вході у випарну установку,  $СР_{\text{пву}}$ , до концентрації сиропу на виході з ВУ,  $СР_{\text{сир}}$ , яке реалізується в багатокорпусній випарній установці з одержанням після неї сиропу у кількості:

$$S_{\text{сир}} = S_{\text{пву}} \frac{СР_{\text{пву}}}{СР_{\text{сир}}} \quad (1,3)$$

При цьому потрібно випарити із соку воду у кількості  $W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}}$  (фактична продуктивність ВУ), яка в процесі роботи ВУ повинна бути рівною необхідній продуктивності ВУ, яка визначається з балансу сухих речовин до і після ВУ,

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = \text{СР}_{\text{ПВУ}} \left(1 - \frac{\text{СР}_{\text{ПВУ}}}{\text{СР}_{\text{сир}}}\right) \quad (1,4)$$

Рівність  $W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}}$  забезпечує розрахункову концентрацію сиропу після ВУ.

Центральною частиною теплотехнологічної системи цукрового заводу є випарна установка (ВУ). В цукровій промисловості використовуються 4-6 корпусні випарні установки з відборами пари з корпусів ВУ на підігрівники та вакуум-апарати.[3]

Кількість корпусів ВУ в зазвичай обумовлена наявним температурним перепадом на ній,  $\Delta t_{\text{ВУ}}^{\text{наявн}}$ , який визначається як різниця максимальної температури грійної пари на I-й корпус  $t_{\text{гр.п.}}^{1\text{к}}$ , і мінімальної температури вторинної пари з останнього корпусу ВУ,  $t_{\text{вт.п.}}^{\text{ост.к}}$ :

$$\Delta t_{\text{ВУ}}^{\text{наявн}} = t_{\text{гр.п.}}^{1\text{к}} - t_{\text{вт.п.}}^{\text{ост.к}} \quad (1,5)$$

Максимальна температура нагрівної пари на I-й корпус залежить від максимальної допустимої температури кипіння в I-му корпусі ВУ,  $(t_{\text{кип}}^{1\text{к}})_{\text{макс.}}$ . В свою чергу  $(t_{\text{кип}}^{1\text{к}})_{\text{макс.}}$  залежить від термостійкості соку, що надійшов на ВУ, яка обумовлена якістю цукрового буряка та результатом роботи станції дефекосатурації дифузійного соку. Важливим чинником є і конструкція випарних апаратів (ВА): для ВА з багатократною природною циркуляцією прийнято, що  $(t_{\text{кип}}^{1\text{к}})_{\text{макс.}} = 126 \text{ }^\circ\text{C}$ , а для ВА однопрохідних  $(t_{\text{кип}}^{1\text{к}})_{\text{макс.}} = 135 \text{ }^\circ\text{C}$ . Від ступеню однопрохідності соку в трубній системі ВА залежить час перебування соку при максимальній температурі у ВА, який впливає на розкладання цукру (його карамелізацію) і технологічні втрати на ВУ в цілому.[2]

Мінімальна температура вторинної пари в останньому корпусі ВУ залежить від досконалості вакуум-конденсаторної установки заводу, її приймають на рівні  $t_{\text{вт.п.}}^{\text{ост.к}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Наявний температурний перепад витрачається на :

а) суму корисних різниць температур на всіх корпусах ВУ,  $\sum_{i=1}^n \Delta t_i^{\text{кор}}$ , які визначаються як різниця температури насичення грійної пари, що надійшла в міжтрубний простір ВА, і середньої температур кипіння розчину в кип'ятильних трубах. Ця різниця являється рушійною силою інтенсивності передачі теплоти від пари до киплячого розчину в трубах;

б) компенсацію фізико – хімічної депресії при кипінні цукрових розчинів у випарних апаратах,  $\sum_{i=1}^n \Delta_{\text{ф.х.}}$ , яка залежить від середньої концентрації розчину в апараті і зростає від початкових до наступних корпусів ВУ;

в) компенсацію гідростатичної та гідродинамічної депресій, які існують при кипінні розчинів у вертикальних трубах поверхні теплообміну і підйомному русі розчинів в них,  $\sum_{i=1}^n \Delta_{\text{г.ст.}}$  та залежать від пезометричного рівня розчину в кип'ятильних трубах.[4]

г) компенсацію зменшення температури насичення грійної пари в корпусах ВУ, еквівалентної гідравлічним втратам при її русі з надсокового простору попереднього ВА в міжтрубну камеру наступного ВА,  $\sum_{i=1}^n \Delta_{\text{втр.}}$ .

В результаті:

$$\Delta t_{\text{ВУ}}^{\text{наявн}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i^{\text{кор}} + \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{ф.х.}} + \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{г.ст.}} + \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{втр.}} \quad (1,6)$$

Передостання складова витрати наявного температурного перепаду на гідростатичну депресію відсутня, при використанні як корпусів ВУ випарних апаратів з гравітаційно-стікаючою плівкою. Відсутність  $\sum_{i=1}^n \Delta_{\text{г.ст.}}$  у ВУ, укомплектованій на всіх корпусах (або на більшості корпусів) ВА з гравітаційно-стікаючою плівкою, дає можливість збільшити частку  $\Delta t_{\text{ВУ}}^{\text{наявн}}$ , що витрачається як сума корисних різниць температур на корпусах ВУ. Це дозволяє одержати повноцінну величину (в межах 5÷7 °С) корисної різниці температур для додаткового корпусу ВУ, збільшуючи їх кількість у ВУ.[5]

Фактична продуктивність ВУ,  $W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}}$ , (сума кількостей води, яка випарена на всіх корпусах ВУ), визначається за формулою:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n i \cdot E_i + n D_{\text{к}} \quad (1,7)$$

де: n- число корпусів ВУ, а  $D_{\text{к}}$  надходження вторинної пари з останнього корпусу ВУ в барометричний конденсатор.

## **1.2. Регулювання продуктивності на прикладі 5-ти корпусної ВУ з відборами вторинної пари.**

В які перетворилися раніше поширені в промисловості 4-х корпусні ВУ з концентратором (концентратор працює як 5-ий корпус з надходженням вторинної пари з нього у кількості  $E_5$  на підігрівники, а також з постійним надходженням частини вторинної пари у кількості  $D_{\text{к}}$  в БК) визначимо продуктивність окремих корпусів та ВУ в цілому, а також витрату пари на ВУ. Відбори вторинної пари з корпусів ВУ дорівнюють:

з 1-го  $E_1$ , з 2-го  $E_2$ , з 3-го  $E_3$ , з 4-го  $E_4$ , з 5-го  $E_5$ .

Тоді продуктивність окремих корпусів (починаючи з останнього) дорівнює:

пятого корпусу:  $W_5 = E_5 + D_K$ ;

четвертого корпусу:  $W_4 = W_5 + E_4 = E_4 + E_5 + D_K$ ;

третього корпусу:  $W_3 = W_4 + E_3 = E_3 + E_4 + E_5 + D_K$ ;

другого корпусу:  $W_2 = W_3 + E_2 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + D_K$ ;

першого корпусу  $W_1 = W_2 + E_1 = E_1 + E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 + 5D_K$ .

Продуктивність всієї ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_1^5 W_i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 + 5D_K = \sum_1^5 iE_i + 5D_K$$

а витрата пари на ВУ дорівнює:

$$D_{\text{ВУ}} = W_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + D_K = \sum_1^5 E_i + D_K.$$

Таким чином, щоб зменшити витрату пари на концентрування соку на випарній установці від початкової концентрації перед ВУ,  $CP_{\text{пву}}$ , до концентрації сиропу на виході з ВУ  $CP_{\text{сир}}$ , можливо лише за рахунок зменшення величин відборів вторинної пари з корпусів ВУ,  $E_i$ , а також зменшення, аж до ліквідації, надходження вторинної пари з останнього корпусу ВУ в барометричний конденсатор ( $D_K=0$ ).

Очевидно, що при мінімальних відборах вторинної пари з корпусів ВУ може виникнути потреба додаткового надходження пари в барометричний конденсатор,  $\Delta D_K^{\text{необх}}$ , щоб забезпечити фактичну продуктивність ВУ на рівні необхідної, тобто

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{необх}} = S_{\text{пву}} \cdot \left(1 - \frac{CP_{\text{пву}}}{CP_{\text{сир}}}\right) = (\sum_{i=1}^n i \cdot E_i)_{\text{мін}} + n \cdot \Delta D_K^{\text{необх}} = W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} \quad (1,8)$$

де:  $S_{\text{пву}}$  — кількість очищеного від нецукрів і профільтрованого соку після II-ї сатурації, останньої стадії очистки соку. Кількість  $S_{\text{пву}}$  залежить від кількості одержаного після дифузійної установки соку,  $S_{\text{відк}}$ , його доброякісності, що обумовлює кількість реагентів  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і  $\text{CO}_2$ , які використовують для обробки дифузійного соку. Важливою є і якість вапнякового молока (яке містить у своєму складі до 34 %  $\text{CaO}$ , що надійшло на його гасіння і одержання  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), та сатураційного газу  $\text{CO}_2$  (вапно  $\text{CaO}$  і вуглекислий газ  $\text{CO}_2$  одержують в результаті обпалення вапняку  $\text{CaCO}_3$  у вапняково-обпалювальній печі). Із зазначених чинників визначальним є величина відкачки дифузійного соку  $S_{\text{відк}}$ . [5]

Конструкція і технологічний режим експлуатації дифузійних установок повинні забезпечити мінімальну величину відкачки дифузійного соку  $S_{\text{відк}}$  і мінімальну його температурою,  $t_{\text{відк}}$ , забезпечивши температурний режим, необхідний для оптимального перебігу процесу екстракції цукру з буряків. Це дозволяє максимально використати теплоту вторинних енергоресурсів (ВЕР) в системі теплоенерговикористання заводу.

$СР_{\text{пву}}$  — концентрація сухих речовин соку, що надходить на концентрування у ВУ. Вона залежить від вмісту цукру в цукрових буряках також від оптимальності роботи системи очистки дифузійного соку.

$СР_{\text{сир}}$  — концентрація сухих речовин в сиропі на виході з ВУ, залежно від типу ВУ і конструкції ВА величина  $СР_{\text{сир}}$  лежить у межах 65-72 %.

Отже, щоб досягнути мінімальної витрати технологічної пари на ВУ, яка являє собою левову частку витрати пари на технологічні потреби, необхідно перш за все забезпечити такий спосіб регулювання продуктивності ВУ, щоб ліквідувати  $D_{\text{к}}^{\text{необх}}$ . [3]

Концентрування соку в багатокорпусній ВУ (з чим пов'язана необхідність випарити воду у кількості  $W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}}$ ) завдяки багатоступеневому випаровуванню енергетично більш ефективно, порівняно з подальшим одноступеневим концентруванням у вакуум-апаратах. Витрата пари на ВУ пропорційна її продуктивності, поділеній на число корпусів,  $\frac{W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}}}{n}$ , тоді як витрата пари на вакуум-апарати пропорційна кількості випареної в них води:

$D_{\text{ВУ}} = \int \left( \frac{W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}}}{n} + A \right)$  (A — складова, що враховує вплив величини відборів вторинної пари з окремих корпусів на  $D_{\text{ВУ}}$ , а  $n$  — число корпусів ВУ);

$D_{\text{ва}} = a \cdot W_{\text{ва}}$  - витрата пари на етапі одноступеневого концентрування одержаного після ВУ сиропу до стану утфелю у вакуум-апаратах I-ого продукту ( $a > 1$ ).

### 1.3. Регулювання продуктивності ВУ на базі використання механічних компресорів пари

Механічний компресор, що має привід від електродвигуна, повинен стиснути вторинну пару з  $i$ -того випарного апарату у кількості  $\Delta E_i^{\text{к}}$ , що має початковий тиск  $p_i$ , до тиску  $p_{\text{к}}$ , який має вторинна пара головного корпусу, до якої долучається стиснена пара після компресора.

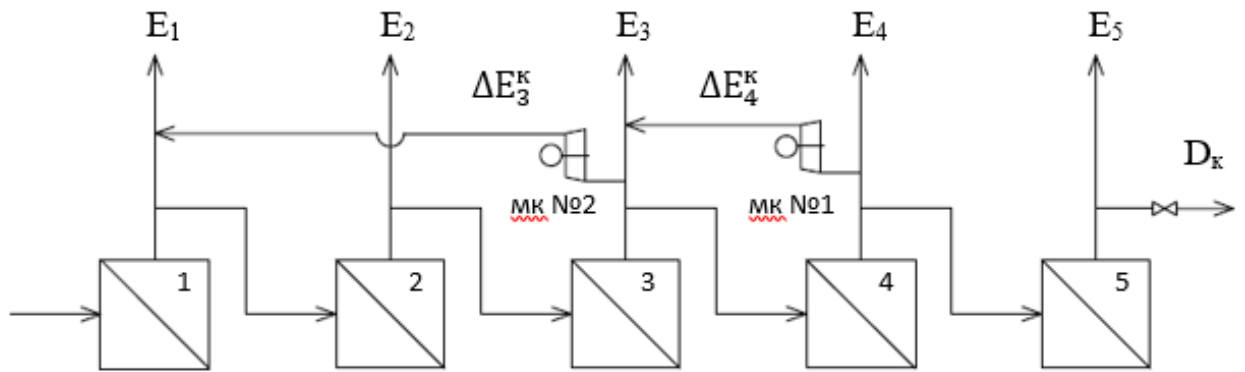


Рис. 1.2. Принципова схема включення механічних компресорів в теплову схему 5-ти корпусної ВУ

Розглянемо, вплив на продуктивність ВУ, а також на витрату пари на ВУ включення в теплову схему випарної установки довільно скомпонованих механічних компресорів. Один з яких (№1) стискає вторинну пару 4-го корпусу у кількості  $\Delta E_4^K$  до тиску вторинної пари 3-го корпусу, а інший (№2) - вторинну пару 3-го корпусу у кількості  $\Delta E_3^K$  до тиску вторинної пари 1-го корпусу[3].

Якщо механічні компресори не вимкнені, то продуктивність ВУ визначається як:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n i \cdot E_i + 5 D_K, \quad (1,9)$$

а витрата пари на ВУ дорівнюватиме:

$$D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^n E_i + D_K. \quad (1,10)$$

Визначимо продуктивність кожного корпусу та ВУ в цілому при позначених на схемі та включених в роботу механічних компресорів №1 і №2.

Продуктивність (кількість випареної води) 5-го корпусу:  $W_5 = E_5 + D_K$ ,

тут  $D_K$ — це надходження вторинної пари з 5-го корпусу в барометричний конденсатор, а  $E_5$ — відбір вторинної пари 5-го корпусу в підігрівники соку (далі  $E_4, E_3, E_2, E_1$ , — кількість вторинної пари, відповідно, з 4-го, 3-го, 2-го, 1-го корпусів ВУ, яка відбирається в підігрівники соку та на вакуум-апарати).[3]

Продуктивність 4-го корпусу:

$$W_4 = W_5 + E_4 + \Delta E_4^K = E_5 + D_K + E_4 + \Delta E_4^K;$$

продуктивність 3-го корпусу:

$$W_3 = W_4 + E_3 + \Delta E_3^K - \Delta E_4^K = E_5 + D_K + E_4 + \Delta E_4^K + E_3 + \Delta E_3^K - \Delta E_4^K = E_5 + D_K + E_4 + E_3 + \Delta E_3^K;$$

продуктивність 2-го корпусу:

$$W_2 = W_3 + E_2 = E_5 + D_K + E_4 + E_3 + E_2 + \Delta E_3^K;$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$W_1 = W_2 + E_1 - \Delta E_3^K = E_5 + D_K + E_4 + E_3 + E_2 + E_1 + \Delta E_3^K - \Delta E_3^K = E_5 + D_K + E_4 + E_3 + E_2 + E_1 = \sum_{i=1}^5 E_i + D_K.$$

Продуктивність ВУ визначається як сума продуктивностей всіх корпусів, тобто:

$$\begin{aligned} (W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}})' &= \sum_{i=1}^5 W_i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 + 5D_K + 2\Delta E_3^K + \Delta E_4^K = \\ &= \sum_{i=1}^n i \cdot E_i + 5D_K + 2\Delta E_3^K + \Delta E_4^K \end{aligned}$$

Витрата пари на ВУ,  $D'_{\text{ВУ}}$ , з точністю, прийнятною для інженерних розрахунків, визначається як:

$$D'_{\text{ВУ}} = W_1 = \sum_{i=1}^n E_i + D_K. \quad (1,11)$$

Отже включення в роботу механічних компресорів за зазначеною на рис. 2.2 схемі збільшує продуктивність ВУ на величину:

$$\Delta W_{\text{ВУ}} = (W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}})' - W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = (\sum_{i=1}^n i \cdot E_i + 5D_K + 2\Delta E_3^K + \Delta E_4^K) - (\sum_{i=1}^n i \cdot E_i + 5D_K) = 2\Delta E_3^K + \Delta E_4^K \quad (1,12)$$

При цьому зміна витрати пари на випарну установку  $\Delta D_{\text{ВУ}}$ , визначається як:

$$\Delta D_{\text{ВУ}} = D'_{\text{ВУ}} - D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^n E_i + D_K - \sum_{i=1}^n E_i - D_K = 0, \quad (1,13)$$

тобто витрата пари на випарну установку залишилася незмінною.

Збільшення продуктивності ВУ за рахунок включення в роботу механічних та пароструминних компресорів дозволяє:

1. Ліквідувати надходження вторинної пари в барометричний конденсатор,  $D_K$ , з чим пов'язане зменшення продуктивності ВУ на величину  $\Delta W'_{\text{ВУ}} = 5D_K$ , яке

компенсується відбором пари в МК. При цьому витрата пари на ВУ зменшується на величину  $\Delta D'_{\text{ВУ}} = D_{\text{к}}$ .

2. Реалізувати заходи, які пов'язані з максимальним використанням вторинних енергоресурсів (ВЕР), що призведе до зменшення відборів вторинної пари з корпусів ВУ на величину  $\Delta E_i$  з кожного корпусу та на сумарну величину  $\sum_{i=1}^n \Delta E_i$  на всій ВУ. Це дозволить зменшити витрату пари на ВУ на величину  $\Delta D''_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^n \Delta E_i$  але при цьому зменшується також продуктивність ВУ на величину  $\Delta W''_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^n i \cdot \Delta E_i$ . Робота механічних компресорів дає можливість також компенсувати це зменшення продуктивності ВУ.
3. Забезпечити наявність запасу продуктивності ВУ,  $\Delta W_{\text{ВУ}}^{\text{зап}}$ , який необхідний для того, щоб в кожний момент роботи ВУ забезпечити виконання умови  $W_{\text{ВУ}}^{\text{необх}} = W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}}$ , тобто забезпечити незмінною розрахункову концентрацію сиропу після ВУ з урахуванням існуючих таких реальних чинників в процесі експлуатації випарних установок, як:

а). зміна режиму відборів вторинної пари з корпусів ВУ на підігрівники в технологічному ланцюжку, починаючи від дифузійної установки і завершуючи підігрівниками соку перед випарною установкою. Визначальне значення для зміни відборів вторинної пари з корпусів ВУ на згадані підігрівники має зміна величини відкачки дифузійного соку,  $S_{\text{відк}}$ .

б). Зміна режиму відборів вторинної пари на вакуум-апарати, враховуючи періодичність їх роботи (порівняно з безперервністю роботи ВУ).

Отже маємо, що збільшення продуктивності ВУ за рахунок роботи механічних компресорів витрачається на:

$$\Delta W_{\text{ВУ}} = 2 \cdot \Delta E_3^{\text{к}} + \Delta E_4^{\text{к}} = D_{\text{к}} + \sum_{i=1}^n i \cdot \Delta E_i + \Delta W_{\text{ВУ}}^{\text{зап}} \quad (1,14)$$

Ефективність використання механічних компресорів залежить від співвідношення витрат на електричну енергію, необхідну для електричних приводів компресорів, з отриманою економією витрати пари на технологічний процес. Вона визначається в результаті необхідних техніко-економічних розрахунків[2].

#### **1.4. Ліквідація дефіциту продуктивності ВУ, пов'язану з використанням МК для стиснення вторинної пари вакуум-апаратів**

Забезпечення вакуум-апаратів І-го продукту стисненою механічним компресором вторинною парою дозволяє ліквідувати відбір вторинної пари з і-того корпусу ВУ на вакуум-апарати 1-го продукту в кількості  $E_i^{\text{В/а}}$ .

В свою чергу це приведе до зменшення продуктивності ВУ на величину  $\Delta W_{\text{ВУ}} = i \cdot \Delta E_i^{\text{В/а}}$ , а значить і до зменшення концентрації сиропу після ВУ, що недопустимо.

Задачу ліквідації наявного дефіциту продуктивності  $\Delta W_{\text{ВУ}}$  необхідно розв'язати з максимальним теплоенергетичним ефектом, тобто одержати в результаті максимальне зменшення витрати пари на ВУ.[5]

Розглянемо можливі варіанти ліквідації дефіциту продуктивності ВУ в розмірі  $\Delta W_{\text{ВУ}}$ :

- 1) Регулювання продуктивності ВУ надходженням пари в барометричний конденсатор

Дефіцит продуктивності ВУ у розмірі  $i \cdot \Delta E_i^{\text{В/а}}$  можна ліквідувати за рахунок додаткового надходження вторинної пари з останнього,  $n$  – го корпусу в барометричний конденсатор,  $\Delta D_{\text{к}}$ . При цьому матимемо, що  $\Delta W_{\text{ВУ}} = i \cdot \Delta E_i^{\text{В/а}} = n \cdot \Delta D_{\text{к}}$ . Відбір вторинної пари в барометричний конденсатор збільшиться на  $\Delta D_{\text{к}} = \frac{\Delta W_{\text{ВУ}}}{n}$ , тоді, як відбір вторинної пари з  $i$ -того корпусу ВУ на вакуум-апарат І-го продукту зменшився на величину  $\Delta E_i^{\text{В/а}} = \frac{\Delta W_{\text{ВУ}}}{i}$ . Очевидно, що сумарна зміна відборів вторинної пари з корпусів ВУ,  $\Delta D_{\text{ВУ}}^{\text{сум}}$ , (вона ж і є зміною витрати пари на ВУ  $\Delta D_{\text{ВУ}}$ ) буде дорівнювати:

$$\Delta D_{\text{ВУ}}^{\text{сум}} = +\Delta D_{\text{к}} - \Delta E_i^{\text{В/а}} = \frac{\Delta W_{\text{ВУ}}}{n} - \frac{\Delta W_{\text{ВУ}}}{i} = \Delta W_{\text{ВУ}} \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{i} \right) \quad (1,15)$$

Оскільки  $i < n$  матимемо, що  $\Delta D_{\text{ВУ}}^{\text{сум}} = -\left(\frac{n-i}{n \cdot i}\right) \cdot \Delta W_{\text{ВУ}}$ .

Наприклад, якщо ВУ п'ятикорпусна і на вакуум-апарати І-го продукту відбирається вторинна пара з 3-го корпусу в кількості

$$\Delta E_3^{\text{В/а}} =$$

$102,7 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}$  (ця величина буде визначена нами в процесі розрахунку системи

теплоенерговикористання заводу), тоді продуктивність ВУ зменшиться на  $\Delta W_{\text{ВУ}} = 3 \cdot 102,7 = 308,1 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}$ , а витрата пари на ВУ зменшиться на:  $\Delta D_{\text{ВУ}}^{\text{сум}} = -\left(\frac{5-3}{5 \cdot 3}\right) \cdot 308,1 = -41,08 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}$ .

- 2) Розглянемо варіант, коли дефіцит продуктивності ВУ в розмірі  $\Delta W_{\text{ВУ}} = i \cdot \Delta E_i^{\text{В/а}}$  ліквідуємо регулюванням продуктивності ВУ міжкорпусними перепусками вторинної пари.

На рисунку 1.3 показана принципова схема 5-ти корпусної ВУ, в тепловій схемі якої відсутнє надходження пари в БК і довільно передбачена можливість часткового перепуску пари, що надходить як грійна пара в 1-й корпус, в кількості  $\Delta E_p$  в трубопровід вторинної пари 1-го корпусу, частковий перепуск вторинної пари 1-го корпусу в трубопровід вторинної пари 2-го корпусу в кількості  $\Delta E_1$ , а також частковий перепуск вторинної пари 1-го корпусу ВУ в трубопровід вторинної пари 3-го корпусу в кількості  $\Delta E'_1$ . [5]

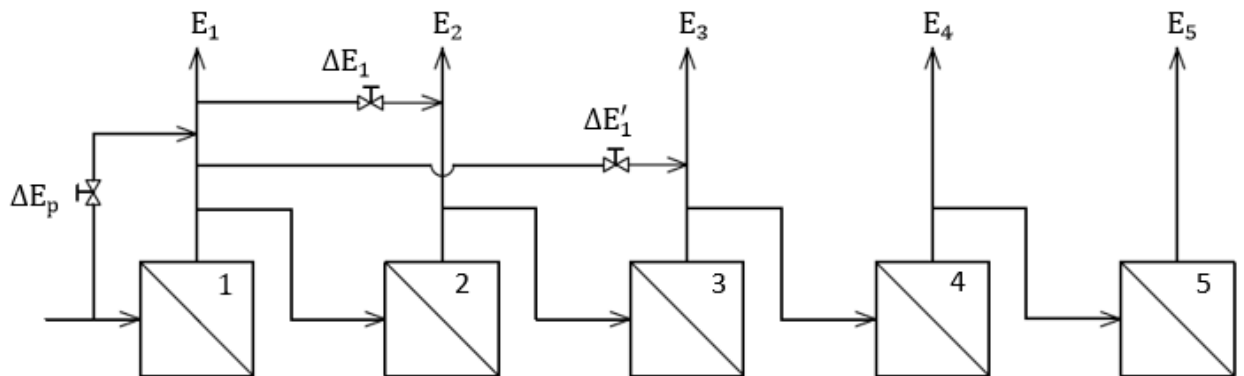


Рис. 1.3 Принципова схема 5-ти корпусної ВУ з відборами вторинної пари з корпусів ВУ і наявністю міжкорпусних перепусків пари  $\Delta E_p$ ,  $\Delta E_1$ ,  $\Delta E'_1$ .

Для представленої на рис.3 схеми ВУ з включеними міжкорпусними перепусками пари продуктивність окремих корпусів і ВУ в цілому визначаються як:

продуктивність 5-го корпусу:

$$W_5 = E_5;$$

продуктивність 4-го корпусу:

$$W_4 = E_4 + E_5;$$

продуктивність 3-го корпусу:

$$W_3 = E_3 + E_4 + E_5 - \Delta E'_1;$$

продуктивність 2-го корпусу:

$$W_2 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 - \Delta E'_1 - \Delta E_1;$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$\begin{aligned}
W_1 &= E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 - \Delta E'_1 - \Delta E_1 + \Delta E'_1 + \Delta E_1 - \Delta E_p \\
&= E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 - \Delta E_p = \sum_{i=1}^5 E_i - \Delta E_p.
\end{aligned}$$

Продуктивність ВУ, як сума продуктивностей корпусів ВУ, дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = \sum_{i=1}^5 W_i = W_{\text{ВУ}}^{\text{необх}} = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 - (\Delta E_p + \Delta E_1 + 2 \cdot \Delta E'_1) \quad (1,16)$$

Витрата пари на випарну установку дорівнюватиме:

$$D_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = W_1 + \Delta E_p = \sum_{i=1}^5 E_i - \Delta E_p + \Delta E_p = \sum_{i=1}^5 E_i \quad (1,17)$$

і визначається лише як сума величин відборів вторинної пари з корпусів ВУ в підігрівники і вакуум-апарати заводу.

Таким чином наявність міжкорпусних перепусків пари не впливає на витрату пари на ВУ, а впливає лише на її продуктивність.[2]

Очевидно, що міжкорпусні перепуски пари можуть бути реалізованими, якщо фактична продуктивність ВУ, що забезпечується лише існуючими відборами вторинної пари з корпусів ВУ, перевищує необхідну продуктивність ВУ, тобто

$$\sum_{i=1}^5 i \cdot E_i > W_{\text{ВУ}}^{\text{необх}}. \quad (1,18)$$

Тоді наявність перепусків пари у розмірах  $\Delta E_p, \Delta E_1, \Delta E'_1$  забезпечує запас продуктивності ВУ на рівні:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{зап}} = \Delta E_p + \Delta E_1 + 2 \cdot \Delta E'_1. \quad (1,19)$$

У випадку, що розглядається, ліквідація дефіциту продуктивності ВУ, тобто необхідність збільшення її продуктивності на величину

$$\Delta W_{\text{ВУ}} = i \cdot \Delta E_i^{\frac{b}{a}} (\Delta E_i^{\frac{b}{a}}) \quad (1,20)$$

Зменшення відбору вторинної пари з і-того корпусу на вакуум-апарати 1-го продукту завдяки використанню механічного компресора, що стискає вторинну пару вакуум – апаратів до тиску пари, що відбиралась з і-го корпусу) буде забезпечена зменшенням міжкорпусних перепусків пари на величину  $\delta E_p, \delta E_1, \delta E'_1$ , виходячи з того, щоб:

$$\Delta W_{\text{ВУ}} = i \cdot \Delta E_i^{\frac{b}{a}} = \delta E_p + \delta E_1 + 2 \cdot \delta E'_1. \quad (1,21)$$

Витрата пари на ВУ,  $D'_{\text{ВУ}}$ , буде як і раніше дорівнювати сумі фактичних величин відборів вторинної пари з корпусів ВУ, з яких лише відбір вторинної пари з 3-го корпусу зменшився на  $\Delta E_3^{\text{в/а}}$ .

Тоді:

$$D'_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i - \Delta E_3^{\text{в/а}}. \quad (1,22)$$

В результаті зменшення витрати пари на ВУ,  $\Delta D'_{\text{ВУ}}$ , буде дорівнювати абсолютній величині зменшення відборів з корпусів ВУ. В нашому випадку:

$$\Delta D'_{\text{ВУ}} = D_{\text{ВУ}}^{\text{ФАКТ}} - D'_{\text{ВУ}} = (\sum_{i=1}^5 E_i) - (\sum_{i=1}^5 E_i - \Delta E_3^{\text{в/а}}) = \Delta E_3^{\text{в/а}}. \quad (1,23)$$

Таким чином, регулюванням продуктивності ВУ міжкорпусними перепусками пари можливо досягнути максимального зменшення пари на ВУ, яка дорівнює абсолютній величині зменшення відбору вторинної пари з третього корпусу ВУ на вакуум-апарати I-го продукту. Тобто для середньоексплуатаційних даних вона складатиме:

$$\Delta D'_{\text{ВУ}} = \Delta E_3^{\text{в/а}} = 102,7 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}. \quad (1,24)$$

Одержана величина зменшення витрати пари на ВУ,  $\Delta D'_{\text{ВУ}} = 102,7 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}$ , при розглянутому способі компенсації дефіциту продуктивності ВУ за допомогою міжкорпусних перепусків пари зростає, порівняно з компенсацією того ж дефіциту продуктивності додатковим надходженням пари в барометричний конденсатор (яке забезпечило зменшення витрати пари на ВУ на величину[6])

$$\begin{aligned} \Delta D_{\text{ВУ}} &= 41,08 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}} \text{ на величину } (\Delta D_{\text{ВУ}})' = \Delta D'_{\text{ВУ}} - \Delta D_{\text{ВУ}} = 102,7 - 41,08 \\ &= 61,62 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}. \end{aligned}$$

Варто ще раз зауважити, що одержаний результат можливий лише за умови, що  $\sum_{i=1}^5 i \cdot E_i > W_{\text{ВУ}}^{\text{необх}}$ .

- 3) Розглянемо варіант, коли дефіцит продуктивності в розмірі  $\Delta W_{\text{ВУ}} = 3 \cdot \Delta E_3^{\text{в/а}}$  ліквідуємо включенням в роботу пароструминного компресора (ПК).

Для середньоексплуатаційних умов роботи цукрових заводів доцільним вважається стискання вторинної пари I-го чи II-го ВУ до тиску пари, що надходить на корпус ВУ.

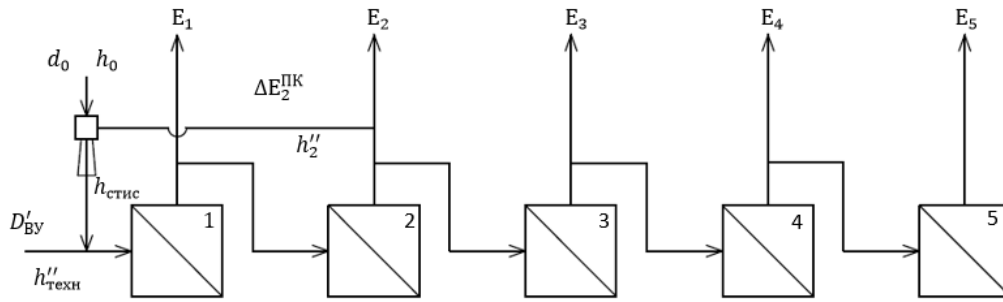


Рис. 4. Принципова схема 5-ти корпусної ВУ з пароструминним компресором (ПК)

Визначимо продуктивність за кількістю випареної води в окремих корпусах випарної установки та на ВУ в цілому за умови відбору вторинної пари 2-го корпусу у кількості  $\Delta E_2^{ПК}$  в ПК.[4]

а). Коли ПК не працює, а відбір вторинної пари в ПК,  $\Delta E_2^{ПК}$ , і зменшення відбору вторинної пари на вакуум – апарати 1 – го продукту на  $\Delta E_3^B$  відсутні, то продуктивність окремих корпусів ВУ дорівнює:

5-го корпусу (надходження вторинної пари з цього корпусу в барометричний конденсатор відсутнє):

$$W_5 = E_5;$$

продуктивність 4-го корпусу:

$$W_4 = E_4 + E_5;$$

продуктивність 3-го корпусу:

$$W_3 = E_3 + E_4 + E_5;$$

продуктивність 2-го корпусу:

$$W_2 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5;$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$W_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5.$$

продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{ВУ} = \sum_{i=1}^5 W_{ВУ}^i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 = \sum_{i=1}^5 i \cdot E_i.$$

Витрата пари на ВУ дорівнює:

$$D_{ВУ} = W_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = \sum_{i=1}^5 E_i.$$

б). При включенні в роботу ПК і появі відбору вторинної пари на нього в кількості  $\Delta E_2^{\text{ПК}}$  матимемо (з урахуванням того, що відбір вторинної пари з 3-го корпусу зменшився на величину  $\Delta E_3^{\text{B/a}}$  через використання вакуум-апаратів 1-го продукту як грійної пари стисненої механічним компресором вторинної пари цих же вакуум-апаратів):

продуктивність 5-го корпусу:

$$W'_5 = W_5 = E_5;$$

продуктивність 4-го корпусу:

$$W'_4 = W_4 = E_4 + E_5;$$

продуктивність 3-го корпусу:

$$W'_3 = (E_3 - \Delta E_3^{\text{B/a}}) + E_4 + E_5;$$

продуктивність 2-го корпусу:

$$W'_2 = E_2 + (E_3 - \Delta E_3^{\text{B/a}}) + E_4 + E_5 + \Delta E_2^{\text{ПК}};$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$W'_1 = E_1 + E_2 + (E_3 - \Delta E_3^{\text{B/a}}) + E_4 + E_5 + \Delta E_2^{\text{ПК}} = \sum_{i=1}^5 E_i - \Delta E_3^{\text{B/a}} + \Delta E_2^{\text{ПК}}.$$

Продуктивність ВУ, як сума фактичних продуктивностей всіх корпусів ВУ, дорівнює:

$$\begin{aligned} W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} &= \sum_{i=1}^5 W'_i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 + 2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} - 3 \cdot \Delta E_3^{\text{B/a}} = \\ &= \sum_{i=1}^5 i \cdot E_i + 2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} - 3 \cdot \Delta E_3^{\text{B/a}} = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} + 2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} - 3 \cdot \Delta E_3^{\text{B/a}}. \end{aligned} \quad (1,25)$$

Витрата пари на ВУ,  $D'_{\text{ВУ}}$ , з урахуванням надходження в неї технологічної пари з ТЕЦ у кількості  $D_{\text{ВУ}}^{\text{техн}}$  та гострої пари в ПК (пари безпосередньо з парових котлів) у кількості  $d_0$ , дорівнюватиме:[5]

$$D'_{\text{ВУ}} = D_{\text{ВУ}}^{\text{техн}} + d_0. \quad (1,26)$$

Вище одержано, що продуктивність I-го корпусу ВУ при працюючому ПК визначається як:

$$W'_1 = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_2^{\text{ПК}} - \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}}. \quad (1,27)$$

В той же час вона дорівнює кількості пари, що надійшла в нагрівну камеру I-го корпусу ВУ (якщо вважати, що 1 кілограм нагрівної пари випаровує 1 кілограм вторинної пари):

$$\sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_2^{\text{ПК}} - \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} = D_{\text{ВУ}}^{\text{техн}} + d_0 + \Delta E_2^{\text{ПК}}, \quad \text{звідки:} \quad D_{\text{ВУ}}^{\text{техн}} + d_0 = \sum_{i=1}^5 E_i - \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}}$$

$$- \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} = D_{\text{ВУ}} - \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} = D'_{\text{ВУ}},$$

де:  $D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i$  — витрата пари на ВУ при непрацюючому ПК;

$D'_{\text{ВУ}}$  - витрата пари на ВУ при працюючому ПК;

$D_{\text{ВУ}}^{\text{техн}}$  - витрата технологічної пари з ТЕЦ на ВУ.

Таким чином відбір вторинної пари в ПК,  $\Delta E_2^{\text{ПК}}$ , впливає як на продуктивність ВУ, так і на витрату пари на неї, яка, як і до включення в роботу ПК, дорівнює сумі фактичних відборів вторинної пари з корпусів.

Так, збільшення відбору вторинної пари в ПК, від мінімального значення  $(\Delta E_2^{\text{ПК}})_{\min} = 0$  до максимального значення  $(\Delta E_2^{\text{ПК}})_{\max}$  приведе до зростання продуктивності ВУ на величину від  $\Delta W_{\text{ВУ}}^{\min} = 0$  до  $\Delta W_{\text{ВУ}}^{\max} = 2 \cdot (\Delta E_2^{\text{ПК}})_{\max}$ .

ПК включається в роботу тоді, коли вакуум-апарати 1-го продукту переходять на нагрівну пару, яку одержують після механічних компресорів, що стискають вторинну пару після вакуум-апаратів 1-го продукту. При цьому припиняється відбір вторинної пари з 3-го корпусу ВУ на вакуум-апарати у кількості  $\Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}}$  і продуктивність ВУ зменшується на величину[5]

$$\Delta W_{\text{ВУ}} = 3 \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}}.$$

Раніше нами одержано, що:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = \sum_{i=1}^5 i \cdot E_i + \left( 2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} - 3 \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} \right) = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} + \left( 2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} - 3 \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} \right).$$

Очевидно, що вираз в дужках дорівнює нулю, тобто:

$$2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} - 3 \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} = 0.$$

Таким чином,

$$2 \cdot \Delta E_2^{\text{ПК}} = 3 \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}},$$

і відбір вторинної пари II-го корпусу ВУ в ПК повинен дорівнювати  $\Delta E_2^{\text{ПК}} = \frac{3}{2} \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}}$ .

Інтегральним показником роботи ПК є коефіцієнт інжекції  $u$ , який визначається як відношення кількості вторинної пари II-го корпусу, яка стискається в ПК, до кількості гострої пари, що надходить I-й корпус після парових котлів ТЕЦ, тобто:[6]

$$u = \frac{\Delta E_2^{\text{ПК}}}{d_0}; \quad (1,28)$$

Іншими словами, коефіцієнт інжекції показує ,яка кількість пари низького потенціалу стискається 1 кілограмом гострої пари.

На кожний кілограм гострої пари, що надійшла в ПК, вийде після ПК  $1+u$  кг стисненої пари.

Для середньоексплуатаційних умов, прийнятих нами, як про це сказано раніше,  $\Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} = 102,7 \frac{\text{кг}}{\text{т буряків}}$ , відбір вторинної пари з II-го корпусу в ПК при визначеному коефіцієнті інжекції  $u$  дорівнює:  $\Delta E_2^{\text{ПК}} = \frac{3}{2} \cdot \Delta E_3^{\frac{\text{В}}{\text{а}}} = 154,05 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$  а кількість гострої пари, що надійде в ПК,  $d_0 = \frac{\Delta E_2^{\text{ПК}}}{u} = \frac{154,05}{u} \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ .

## Розділ №2. Термодинамічний аналіз роботи ПК та аналіз витрати пари на ВУ та її продуктивності, для різних варіантів використання ПК.

### 2.1 Термодинамічний аналіз роботи ПК.

Пароструминний компресор, схематично зображений на рис. 1, він складається з робочого сопла А, приймальної камери В, камери змішування С з вхідною ділянкою Д і дифузора Е.

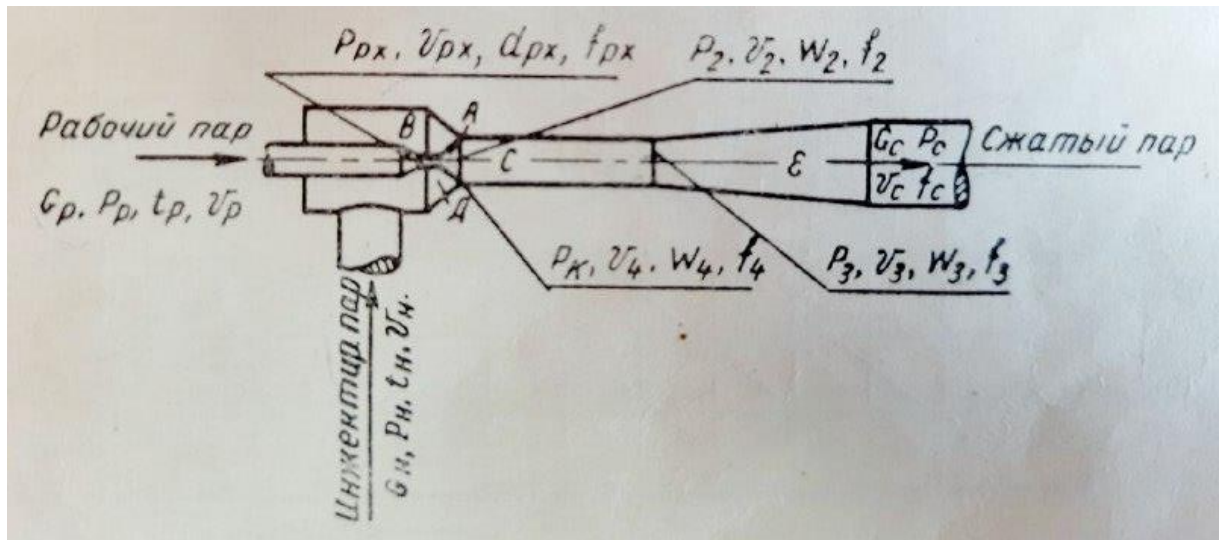


Рис. 2.1 Принципова схема пароструминного компресора.[7]

Процес роботи пароструминного компресора в сучасному поданні здійснюється наступним чином (рис. 2). Робоча пара в соплі А і на вхідній ділянці Д камери змішування С розширюється від тиску  $p_r$ , до деякого тиску  $p_k$  та входить до камери змішування з великою швидкістю та відповідним цій швидкості запасом кінетичної енергії.

Інжектвана пара вступає у приймальну камеру з тиском  $P_n$  і розширюється на вхідній ділянці камери змішування також до тиску  $p_k$ . На ділянці від зрізу сопла до деякого перетину камери змішування відбувається підсмоктування інжектваної пара струменем гострої пари. В камері змішування виникає процес перемішування потоків, в результаті чого відбувається вирівнювання швидкісного поля по перерізу потоків, що супроводжується зменшенням швидкості та запасу кінетичної енергії з відповідним підвищенням тиску потоку від  $P_k$  до  $P_3$  в кінці камери змішування. В дифузорі Е змішаний потік підвергається подальшому стисканню від тиску  $p_3$  до тиску  $p_c$ . [7]



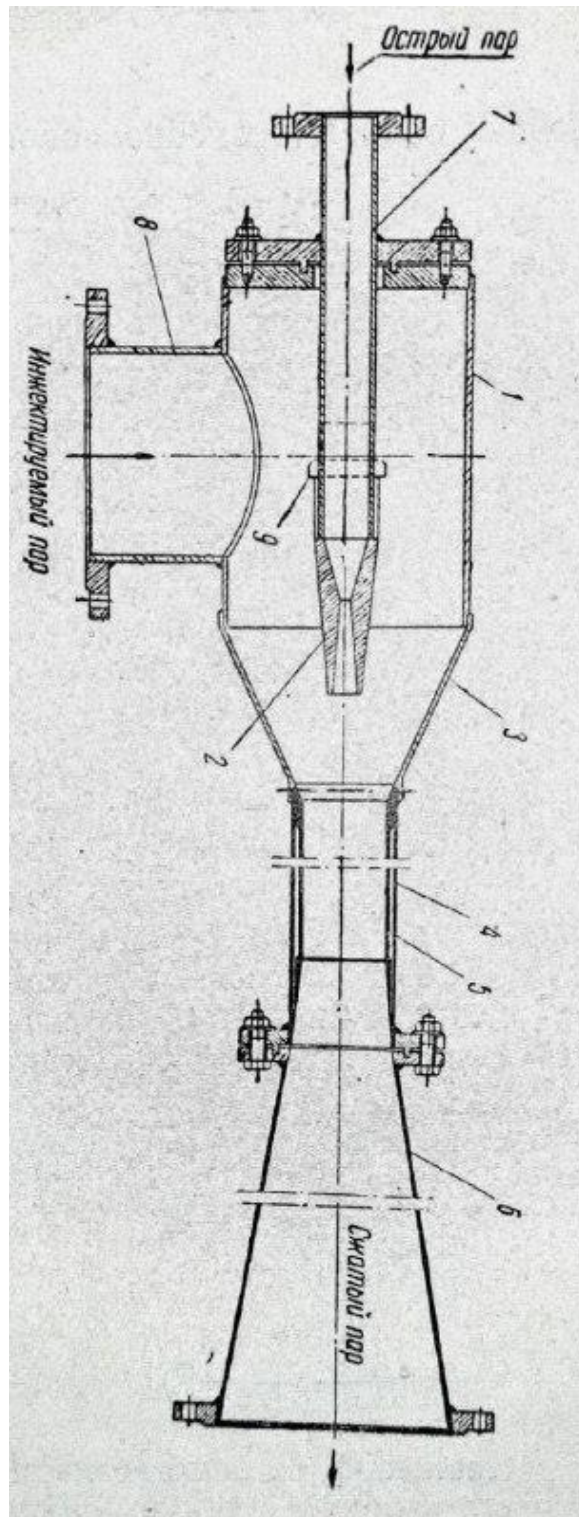
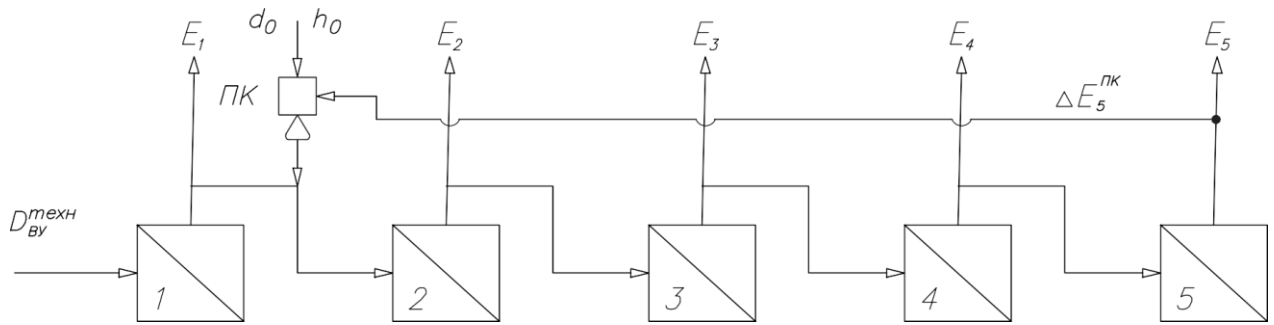


Рис 2.3 Загальний вигляд ПК

## 2.2 Аналіз витрати пари на ВУ та її продуктивності, для різних варіантів використання ПК.

Визначимо формули для розрахунку продуктивності ВУ та витрати технологічної пари на неї, залежно від використання пароструминного компресора для стискання вторинної пари 1-го, 2-го та 3-го корпусів.

## 2.2.1 ПК стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 1-го корпусу



Оскільки ми розв'язуємо питання компенсації дефіциту продуктивності ВУ, що виникає через відсутність відбору вторинної пари з 3-го корпусу ВУ для вакуум-апаратів І-го продукту (необхідну для уварювання утфелю І-го продукту, що передбачено одержати після механічних компресорів, які стискають вторинну пару з цих вакуум апаратів до тиску, що дорівнює тиску вторинної пари після 3-го корпусу ВУ, яку використовували б при відсутності механічних компресорів, як нагрівну пару для вакуум-апаратів І-го продукту) та сумарний відбір вторинної пари 3-го корпусу  $E_3$  враховує відсутність відбору на вакуум-апарати І-го продукту.

1. Визначаємо продуктивність окремих корпусів і ВУ в цілому:

$$\text{продуктивність 5-го корпусу: } W_5 = E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}};$$

$$\text{продуктивність 4-го корпусу: } W_4 = E_4 + W_5 = E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}};$$

$$\text{продуктивність 3-го корпусу: } W_3 = E_3 + E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}};$$

$$\text{продуктивність 2-го корпусу: } W_2 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}};$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$W_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_1''};$$

продуктивність ВУ визначається як

$$\sum_{i=1}^5 W_i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 + 5\Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_1''};$$

2. У цих формулах  $h_{\text{сум}}$  це – ентальпія суміші гострої пари, що надходить в ПК, і вторинної пари 1-го корпусу.

$$h_{\text{сум}} = \frac{d_0 \cdot h_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}} \cdot \square_5''}{d_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}}} \quad (1,29)$$

Де:  $h_0$  – ентальпія гострої пари після парових котлів,

$h_5''$  – ентальпія сухої насиченої пари- вторинної пари 5-го корпусу, що стискається в ПК.

3. Таким чином, продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 W_i = \sum_{i=1}^5 iEi + 5\Delta E_{5\text{ПК}} - (\Delta E_{5\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{СУМ}}}{h_1''} \quad (1,30)$$

4. Визначимо вираз:  $(\Delta E_{5\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{СУМ}}}{h_1''}$  з урахуванням формули для  $h_{\text{СУМ}}$ , тобто:

$$(\Delta E_{5\text{ПК}} + d_0) \frac{d_0 * h_0 + \Delta E_{5\text{ПК}} * \square_5''}{d_0 + \Delta E_{5\text{ПК}}} = (d_0 * h_0 + \Delta E_{5\text{ПК}} * \square_5'') \frac{1}{h_1''} = \frac{d_0}{h_1''} (h_0 + U * h_5'') = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}}}{U} \frac{h_0 + U * h_5''}{h_1''} = \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{h_0 + U * h_5''}{h_1''} \right) \quad (1,31)$$

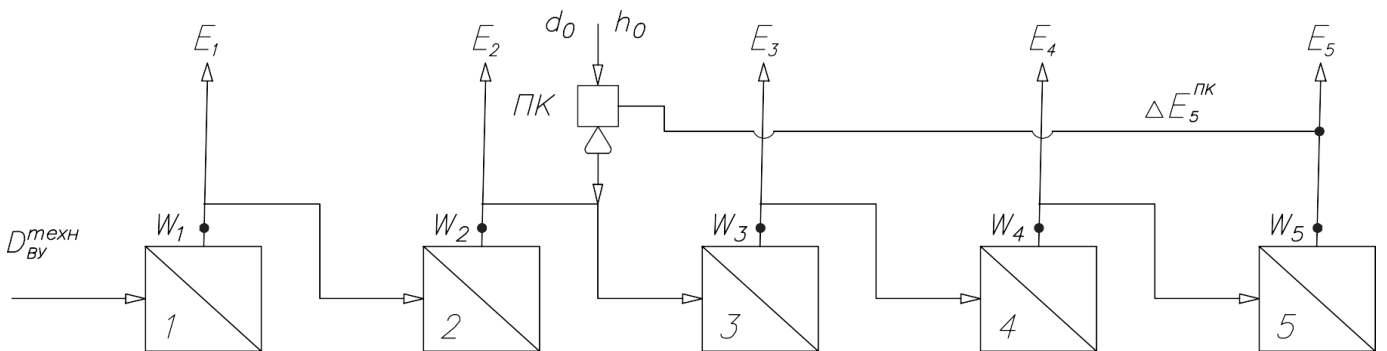
5. Тоді продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 iEi + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - \frac{h_0 + U * h_5''}{h_1''} \right) \quad (1,32)$$

6. Витрата пари на ВУ дорівнює:

$$\begin{aligned} D_{\text{ВУ}} &= D_{\text{ТЕХН}}^{\text{ВУ}} + d_0 \frac{h_0}{h_{\text{ТЕХН}}} = W_1 + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{ТЕХН}}} = \sum_{i=1}^5 Ei + \Delta E_5^{\text{ПК}} - \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{h_0 + U * h_5''}{h_1''} \right) + \\ &= d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{ТЕХН}}} = \sum_{i=1}^5 Ei + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 1 - \frac{h_0 + U * h_5''}{h_1''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{ТЕХН}}} = \\ &= \sum_{i=1}^5 Ei + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{U * h_1'' - h_0 - U * h_5''}{U * h_1''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{ТЕХН}}}; \end{aligned} \quad (1,33)$$

### 2.2.2 ПК стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 2-го корпусу ВУ.



1. Визначимо продуктивність окремих корпусів та ВУ в цілому:

продуктивність 5-го корпусу:  $W_5 = E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}}$ ;

продуктивність 4-го корпусу:  $W4 = E4 + W5 = E4 + E5 + \Delta E_5^{\text{ПК}}$ ;

продуктивність 3-го корпусу:  $W3 = E3 + E4 + E5 + \Delta E_5^{\text{ПК}}$ ;

продуктивність 2-го корпусу:

$$W2 = E2 + E3 + E4 + E5 + \Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''};$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$W1 = E1 + E2 + E3 + E4 + E5 + \Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''};$$

2. Ентальпія суміші гострої пари і пари відбраної з 5-го корпусу в ПК.

$$h_{\text{сум}} = \frac{d_0 * h_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}} * \square_5''}{d_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}}}$$

3. Продуктивність ВУ:

$$\begin{aligned} W_{\text{ВУ}} &= \sum_{i=1}^5 W_i = D_{\text{технВУ}} + d_0 \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} \\ &= E1 + 2E2 + 3E3 + 4E4 + 5E5 - 2(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''} + 5\Delta E_5^{\text{ПК}}, \end{aligned}$$

або

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i + 5\Delta E_5^{\text{ПК}} - 2(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''}.$$

4. Визначимо значення виразу  $(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''}$  з урахуванням формули для  $h_{\text{сум}}$  :

$$\begin{aligned} (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''} &= (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{d_0 * h_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}} * \square_5''}{(d_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}}) \square_2''} = (d_0 * h_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}} * \square_5'') \frac{1}{h_2''} = \\ &= \frac{d_0}{h_2''} (h_0 + U * h_5'') = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}}}{U} \frac{h_0 + U * h_5''}{h_2''}; \end{aligned}$$

5. Тоді продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 iE_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - 2 \frac{h_0 + U * h_5''}{h_2''} \right);$$

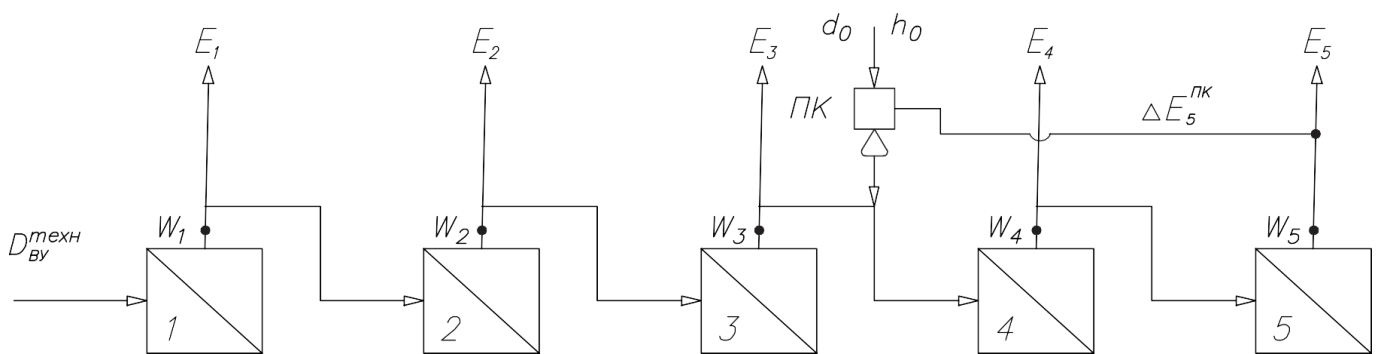
6. Витрата пари на ВУ дорівнює:

$$D_{\text{ВУ}} = D_{\text{техн ВУ}} + d_0 \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = W_1 + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} - \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{h_0 + U * h_5''}{h_2''} \right) +$$

$$d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 1 - \frac{h_0 + U * h_5''}{h_2''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} =$$

$$\sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{U * h_2'' - h_0 - U * h_5''}{U * h_2''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}};$$

### 2.2.3 ПК стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 3-го корпусу ВУ.



1. Визначимо продуктивність окремих корпусів та ВУ в цілому:

продуктивність 5-го корпусу:  $W_5 = E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}};$

продуктивність 4-го корпусу:  $W_4 = E_4 + W_5 = E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}};$

продуктивність 3-го корпусу:

$$W_3 = E_3 + E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_3''};$$

продуктивність 2-го корпусу:

$$W_2 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_3''};$$

продуктивність 1-го корпусу:

$$W_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + \Delta E_5^{\text{ПК}} - (\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_3''};$$

2. Ентальпія суміші гострої пари і пари відібраної з 5-го корпусу ВУ:

$$h_{\text{сум}} = \frac{d_0 * h_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}} * \square_5''}{d_0 + \Delta E_5^{\text{ПК}}}$$

3. Продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 W_i = D_{\text{техн}}^{\text{ВУ}} + d_0 \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5E_5 + \\ + 95\Delta E_5^{\text{ПК}} - 3(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_3''} = \sum_{i=1}^5 E_i + 5\Delta E_5^{\text{ПК}} - 3(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_3''}.$$

4. Обчислимо вираз:

$$(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_3''} = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}} h_0 + U * h_5''}{U};$$

5. Тоді продуктивність ВУ:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 i E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - 3 \frac{h_0 + U * h_5''}{h_3''} \right);$$

6. Витрата пари на ВУ:

$$D_{\text{ВУ}} = D_{\text{техн}}^{\text{ВУ}} + d_0 \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = W_1 + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} - \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{h_0 + U * h_5''}{h_3''} \right) + \\ d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 1 - \frac{h_0 + U * h_5''}{h_3''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} = \\ \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{U * h_3'' - h_0 - U * h_5''}{U * h_3''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}};$$

Після того, як будуть визначені значення коефіцієнтів інжекції  $U$ , можна приступити до наступних розрахунків. Формули для  $W_{\text{ВУ}}$ , яка являє собою фактичну продуктивність ВУ і повинна дорівнювати обчисленій необхідній продуктивності (її величина однакова для всіх варіантів і обрахована в розділі «Розрахунок систем теплоенерговикористання» даної роботи), яка дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = S_{\text{ПВУ}} \left( 1 - \frac{C_{\text{РПВУ}}}{C_{\text{Рсир}}} \right), \quad (1,34)$$

визначаємо величину відбору вторинної пари в ПК,  $\Delta E_5^{\text{ПК}}$ . Решта величин, що входять в формулу для  $W_{\text{ВУ}}$  також приймати з розділу «Розрахунок систем теплоенерговикористання цукрового заводу» та з температурного режиму ВУ з варіанта [ст. 223] [3].

### Розділ №3. Методика визначення коефіцієнта інжекції ПК

Значення коефіцієнта інжекції залежить від двох головних параметрів процесу: від ступеня розширення гострої пари  $P_p/P_{\text{поч}}$  та ступеня стиснення

компресора  $P_c/P_{\text{поч}}$ , де  $P_p$ ,  $P_{\text{поч}}$  – тиск перед компресором, відповідно, робочої та інжектваної пари, а  $P_c$  – тиск потоку пари на виході з дифузора.

При зростанні параметра  $P_p/P_{\text{поч}}$  зростає кінетична енергія робочої, гострої пари і таким чином збільшується кількість пари низького тиску, яка при даному значенні  $P_c/P_{\text{поч}}$  надходить в приймальну камеру ПК.

Якщо ж збільшується відношення  $P_c/P_{\text{поч}}$ , то зростає витрата кінетичної енергії на стиснення інжектваної пари, а коефіцієнт інжекції при даному значенні  $P_p/P_{\text{поч}}$  зменшується.

Основне завдання розрахунку пароструминного компресора полягає у визначенні зв'язку між параметрами процесу  $P_p$ ,  $P_{\text{поч}}$ ,  $P_c$  та величиною коефіцієнта інжекції  $U$ . Тому необхідно розрахувати і побудувати робочу характеристику компресора, що являє собою залежність коефіцієнта інжекції  $U$  від ступеню стиснення  $P_c/P_{\text{поч}}$ , тобто,  $U=f(P_c/P_{\text{поч}})$ , по якій визначається коефіцієнт інжекції компресора за різними ступенями стиснення. [7]

Ми розглядаємо такі варіанти застосування ПК:

Коли вторинна пара 5-го корпусу, що має параметри  $P_5^{\text{поч}}$  і  $t_5^{\text{поч}}$ , стискається до параметрів вторинної пари після першого, другого та третього корпусів ВУ.

В наведеному нижче розрахунку системи теплоенерговикористання цукрового заводу в пароструминному компресорі стискається вторинна пара 2-го корпусу до тиску нагрівної пари, що надходить в грійну камеру I-го корпусу.

У зазначених варіантах відомими є  $P_p$ ,  $P_{\text{поч}}$ ,  $P_c$  [7]. Коефіцієнт інжекції визначається за формулою ВТІ (Всесоюзного теплотехнічного інституту), яка дещо скоригована в теплоенергетичній лабораторії ЦІНЦ (Центральний Інститут Цукру), що має вигляд:

$$U = \beta \frac{K_1 \cdot \alpha_{px} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_p}\right)^{\frac{k-1}{k}}} - K_3 \cdot \alpha_{cx} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_c}\right)^{\frac{k-1}{k}}}}{K_3 \cdot \alpha_{cx} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_c}\right)^{\frac{k-1}{k}}} - K_2 \cdot \alpha_{\text{поч.х}} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{k-1}{k}}}} \quad (1,35)$$

Де  $\beta$  – коефіцієнт реалізації компресора, який визначається за формулою:

$$\beta = 1,23 - 0,23 P_c/P_{\text{поч}}$$

$$\alpha_{px} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} * \sqrt{p_p * V_p} \quad (1,35)$$

$$\alpha_{\text{поч.х}} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} * \sqrt{p_{\text{поч}} * V_{\text{поч}}}$$

$$\alpha_{cx} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} * \sqrt{p_c * V_c}$$

Де К- показник адіабати, для перегрітої водяної пари  $K=1,3$ ,  $\frac{k-1}{k} = 0,23$ ,

$$\sqrt{2g \frac{k}{k+1}} = 3,33, \quad (1,36)$$

Для сухої насиченої пари  $K=1,13$ ,  $\frac{k-1}{k} = 0,115$ ;

$$\sqrt{2g \frac{k}{k+1}} = 3,22;$$

$K_1 = \varphi_1 * \varphi_2 * \varphi_3$  - коефіцієнт швидкості робочої (гострої) пари;

$K_2 = \varphi_2 * \varphi_3 * \varphi_4$  - коефіцієнт швидкості інжектованої пари;

Для коефіцієнтів швидкості в робочому соплі  $\varphi_1$ , в камері змішування  $\varphi_2$ , у дифузори  $\varphi_3$  і вхідній дільниці камери змішування  $\varphi_4$  рекомендуються такі значення:

$$\varphi_1 = 0,95; \varphi_2 = 0,975; \varphi_3 = 0,9; \varphi_4 = 0,925;$$

Тоді:

$$K_1 = 0,95 * 0,975 * 0,9 = 0,83$$

$$K_2 = 0,975 * 0,9 * 0,925 = 0,81;$$

$K_3$  – коефіцієнт, який являється функцією повного ступеня стиснення компресора  $P_c/P_{поч}$ . Він залежить від отриманого розподілу повної роботи стиснення камерою змішування і дифузора. Значення  $K_3$  визначається в залежності від повного ступеню стиснення  $P_c/P_k$  за графіком на рис (3,1)[7]

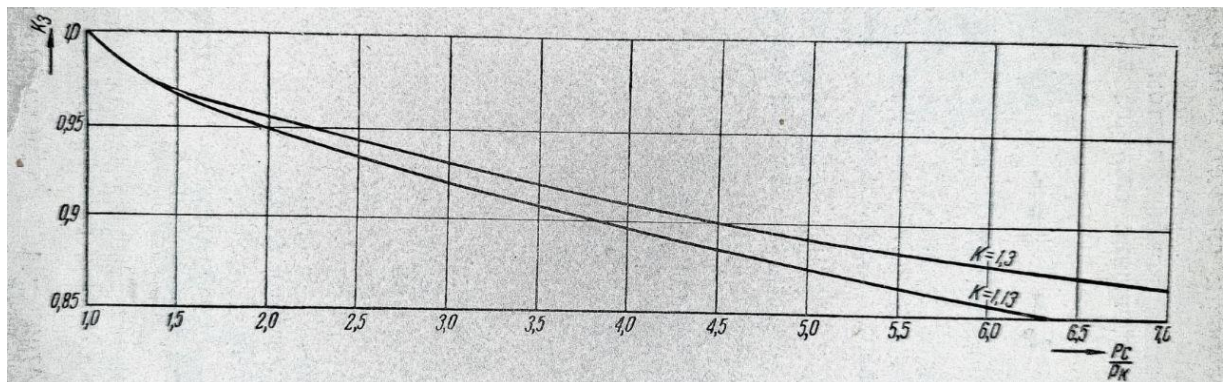


Рис. 3.1 Залежність  $K_3$  від повного стиснення  $P_c/P_k$ .

Поки що нам не відоме значення  $P_k$  – тиск пари на її вході з приймальної камери, в камеру змішування та його оптимальне значення.

Воно визначається методом варіантних наближень. Його суть полягає в тому, що задаються рядом значень  $P_k$ , менших ніж  $P_{\text{поч}}$  – початковий тиск пари, що стискається. Для кожного виданого значення визначають величину  $P_c/P_{\text{поч}}$  і по графіку  $K_3=f(P_c/P_k)$  знаходять значення коефіцієнта  $K_3$ , а потім по формулі (1) визначають  $U$ .

Будують графік  $U=f(P_k)$  і знаходять значення  $P_k$ , якому відповідає максимум коефіцієнта інжекції  $U$ . [7]

При визначенні  $U$  по формулі (1,35) невідомою величиною залишається питомий об'єм стисненої пари  $\alpha_{cx}$ . Цю задачу вирішують методом послідовних наближень. Попередньо задаються значенням коефіцієнта інжекції  $U$ , та визначають тепловміст (ентальпію) стисненої пари за формулою:

$$h_c = \frac{h_p + U \cdot h_{\text{поч}}}{1 + U}. \quad (1,37)$$

Потім по таблицям довідника [Термодинамічні властивості води і водяної пари] знаходять величину  $V_c$  за відомими  $h_c$ ,  $P_c$ . В результаті розрахунку необхідно отримати близьке співвідношення попередньо прийнятого коефіцієнта інжекції з максимальним коефіцієнтом інжекції, обчисленого за рівнянням (1,35).

Ентальпія гострої (робочої) пари  $h_p$  визначається за вищезгаданою таблицею залежності від  $P_p$ ,  $t_p$ .

На рис. 3.2 наведені графік залежності коефіцієнта інжекції  $U$  від ступеня розширення робочої (гострої) пари  $P_p/P_{\text{поч}}$  і ступеня стиснення  $P_c/P_{\text{поч}}$  для пароструминного компресора.

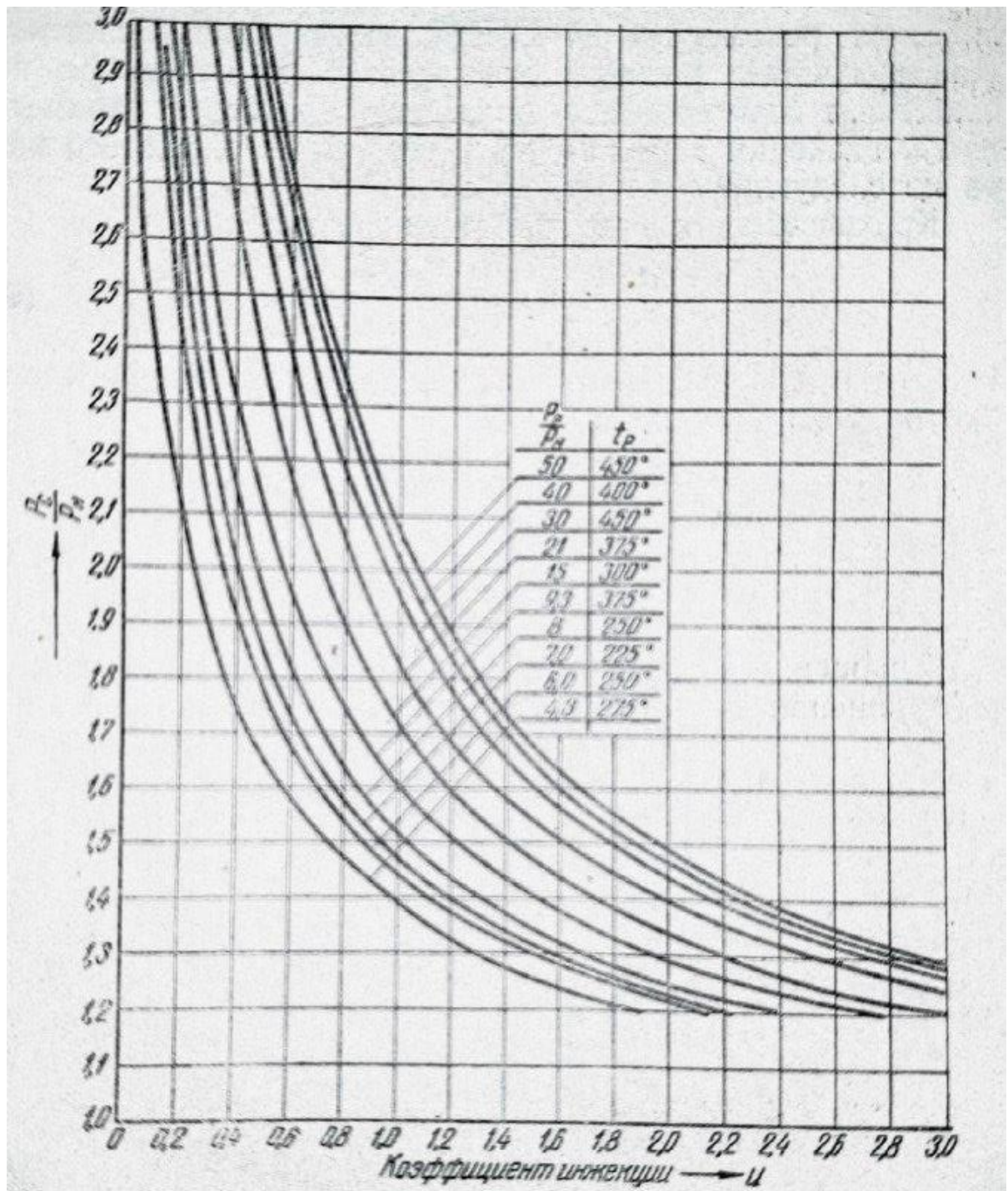


Рис. 3.1 Залежність коефіцієнта інжекції.

Цей графік побудований для перегрітої водяної пари (стан перегрітої пари як раз і має пара, що виходить з компресора). Вони відповідають умовам роботи ПК на цукрових заводах і при показнику адиабати  $K=1,3$  відповідають діапазону ступеня розширення робочої пари  $P_2/P_{\text{поч}} = 4,3-5$  та ступеню стиснення  $P_1/P_{\text{поч}} = 1,2-3$ . [7]

### 3.1 Порядок визначення коефіцієнта інжекції

1. Відповідно до температурного режиму на ВУ параметри вторинної пари 2-го корпусу, що стискається в ПК зведено в таблицю термодинамічних даних щодо потоків пари, пов'язаних з роботою ПК.

Таблиця №1 (Параметри вторинної пари 2-го корпусу)

	Величини		Гостра (робоча) пара	Пара на 1-й корпус ВУ	Вторинна пара з корпусів ВУ			
	Назва	Познач			Вторинна пара 1-го корпусу	Вторинна пара 2-го корпусу	Вторинна пара 3-го корпусу	Вторинна пара 4-го корпусу
1	Тиск пари, бар.	p	35	3,66	2,7	1,98	1,53	0,7
2	Температура пари,	t	435	140,5	130	120	112	90
3	Ентальпія,	h	3303	2734,6	2720,7	2706,5	2694,8	2660,3
4	Питомий об'єм	v	0,057	0,5021	0,668	0,892	1,137	2,036

2. Визначаємо ступінь розширення робочої пари:

$$P_p/P_{\text{поч}}=35/1,98=17,7;$$

3. Визначаємо ступінь стиснення компресором пари:

$$P_c/P_{\text{поч}}= 3,66/1,98 = 1,85;$$

4. Приймаємо попередню величину коефіцієнта інжекції  $U$ , який відповідає згідно мал. 4 [Інструкції по проектуванню ПК]  $P_p/P_{\text{поч}}=17,7$ ,  $P_c/P_{\text{поч}}=1,85$ , який дорівнює  $U= 0.93$ .

5. Визначаємо ентальпію стисненої пари за формулою:

$$h_c = \frac{h_p + U * h_{\text{поч}}}{1 + U} = \frac{3303 + 0,93 * 2706,6}{1 + 0,93} = 3015 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

6. Визначаємо величину відношення  $P_k/P_{\text{поч}}$ :

$$\frac{P_k}{P_{\text{поч}}} = 1,48 - 0,51 \frac{P_c}{P_{\text{поч}}} = 1,48 - 0,51 \frac{3,66}{1,98} = 0,54.$$

7. Тиск інжектованої пари на вході в камеру змішування:

$$P_k = 0,54 * 1,98 = 1,07 \text{ бар.}$$

8. Визначаємо величину відношень  $\frac{P_k}{P_p}$ ,  $\frac{P_k}{P_{\text{поч}}}$ ,  $\frac{P_k}{P_c}$ :

$$\frac{P_k}{P_p} = \frac{1,07}{35} = 0,0305; \quad \frac{P_k}{P_{\text{поч}}} = \frac{1,07}{1,98} = 0,54; \quad \frac{P_k}{P_c} = \frac{1,07}{3,66} = 0,292.$$

9. По кривій на рис. 7 [Інструкції по проектуванню ПК] при  $K=1,3$  знаходимо значення радикалів що входять у формулу для визначення  $U$  [формула 2. Інструкції по проектуванню ПК]

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_p}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,07}{35}\right)^{\frac{1,3-1}{1,3}}} = 0,75;$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,07}{1,98}\right)^{\frac{1,3-1}{1,3}}} = 0,36;$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_c}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,07}{3,66}\right)^{\frac{1,3-1}{1,3}}} = 0,5;$$

10. Визначаємо коефіцієнт  $K_3$  по графіку [рис.3 ст. 11], [Інструкції по проектуванню ПК] при  $K=1,3$ :

$$\frac{P_K}{P_c} = \frac{1,07}{3,66} = 3,42$$

$$K_3 = 0,925.$$

11. Критична швидкість робочої (гострої) пари визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \alpha_{px} &= \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} * \sqrt{p_p * V_p} = 3,33 \sqrt{35 * 10^4 * 0,057} = 3,33 \sqrt{19950} \\ &= 3,33 * 141 = 469 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

12. Критична швидкість інжектваної пари:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{поч.х}} &= \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} * \sqrt{p_{\text{поч}} * V_{\text{поч}}} = 3,33 \sqrt{1,98 * 10^4 * 0,892} = 3,33 * 1,33 \\ &= 443 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

13. Критична швидкість стисненої пари:

$$\begin{aligned} \alpha_{cx} &= \sqrt{2g \frac{k}{k+1}} * \sqrt{p_c * V_c} = 3,33 \sqrt{3,66 * 10^4 * 0,5021} = 3,33 * 135,5 \\ &= 451 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

14. Розрахункові величини, які входять в рівняння для коефіцієнта інжекції  $U$ :

$$K_1 * \alpha_{px} * \sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_p}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = 0,83 * 469 * 0,75 = 291;$$

$$K_2 * \alpha_{\text{почх}} * \sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = 0,81 * 443 * 0,36 = 129,18;$$

$$K_3 * \alpha_{\text{сх}} * \sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{с}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = 0,925 * 451 * 0,5 = 208,6;$$

15. Коефіцієнт реалізації компресора визначаємо за формулою [ ст. 4 ] ,  
[Інструкції по проектуванню ПК]:

$$\beta = 1,23 - 0,23 \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{поч}}} = 1,23 - 0,23 * \frac{3,66}{1,98} = 1,23 - 0,43 = 0,8.$$

16. За формулою (1,35) визначаємо коефіцієнт інжекції, підставляючи в неї всі  
обраховані величини:

$$U = 0,8 \frac{291 - 208,6}{208,6 - 129,18} = 0,8 \frac{82,4}{79,42} = 0,83$$

Це значення коефіцієнта інжекції приймаємо для розрахунку системи  
теплоенерговикористання цукрового заводу.[7]

Для даних розглянутого прикладу визначення коефіцієнта інжекції (відбір в  
ПК вторинної пари 2-го корпусу та стискання її до тиску гострої пари, що надходить  
в 1-й корпус ВУ) необхідно знайти оптимальне значення тиску пари на вході з  
приймальної камери ПК до камери всмоктування,  $P_K$  що відповідає максимальному  
значенню коефіцієнта інжекції  $U$ .

За даними 4-ма значеннями  $P_K$ , які повинні бути меншими початкового  
тиску ( $P_{\text{поч}} = 1,98$  бар) пари, що стискається, а саме:

$$P_K = 0,9 \text{ бар}, P_K = 1,2 \text{ бар}, P_K = 1,5 \text{ бар}, P_K = 1,8 \text{ бар}.$$

Для кожного значення  $P_K$  знайдемо значення розрахункових величин:

1) Тиск пари на вході в камеру змішування  $P_K = 0,9$  бар.

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{р}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{0,9}{35}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,76^{0,23}} = 0,247$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{0,9}{1,98}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,454^{0,23}} = 0,74$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_c}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{0,9}{3,66}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,246^{0,23}} = 0,525$$

2) Тиск пари на в ході камеру змішування  $P_K = 1,2$  бар:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_p}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,2}{35}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,034^{0,23}} = 0,735$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,2}{1,98}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,606^{0,23}} = 0,345$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_c}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,2}{3,66}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,326^{0,23}} = 0,475$$

3) Тиск пари на вході в камеру змішування  $P_K = 1,5$  бар:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_p}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,5}{35}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,043^{0,23}} = 0,718$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,5}{1,98}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,76^{0,23}} = 0,247$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_c}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,5}{3,66}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,41^{0,23}} = 0,43$$

4) Тиск пари на вході в камеру змішування  $P_K = 1,8$  бар:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_p}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,8}{35}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,051^{0,23}} = 0,7$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_{\text{поч}}}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,8}{1,98}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,91^{0,23}} = 0,145$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{P_K}{P_c}\right)^{\frac{K-1}{K}}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1,8}{3,66}\right)^{0,23}} = \sqrt{1 - 0,492^{0,23}} = 0,389$$

Визначимо розрахункові значення коефіцієнта інжекції  $U$  для всіх 4-х значень  $P_K$  за формулою:

$$U = \beta \frac{K_1 * \alpha_{px} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_p}\right)^{\frac{k-1}{k}}} - K_3 * \alpha_{cx} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_c}\right)^{\frac{k-1}{k}}}{K_3 * \alpha_{cx} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_c}\right)^{\frac{k-1}{k}}} - K_2 * \alpha_{почх} \sqrt{1 - \left(\frac{P_k}{P_{поч}}\right)^{\frac{k-1}{k}}}}$$

Тоді при  $\beta = 0,8$ ;  $\alpha_{px} = 469 \frac{M}{c}$ ;  $\alpha_{cx} = 451 \frac{M}{c}$ ;  $\alpha_{почх} = 443 \frac{M}{c}$ ;  $K_1=0,83$ ;  $K_2=0,81$ ;  $K_3=0,925$  і знайдених значень відповідних радикалів маємо:

Для  $P_k = 0,9$  бар.:

$$U = 0,8 \frac{0,83 * 469 * 0,754 - 0,925 * 451 * 0,525}{0,925 * 451 * 0,525 - 0,81 * 443 * 0,394} = 0,8 \frac{293,5 - 219,06}{219,06 - 141,3} = 0,765$$

Для  $P_k = 1,2$  бар.:

$$U = 0,8 \frac{0,83 * 469 * 0,735 - 0,925 * 451 * 0,475}{0,925 * 451 * 0,475 - 0,81 * 443 * 0,345} = 0,8 \frac{286,11 - 198,16}{198,16 - 123,7} = 0,932$$

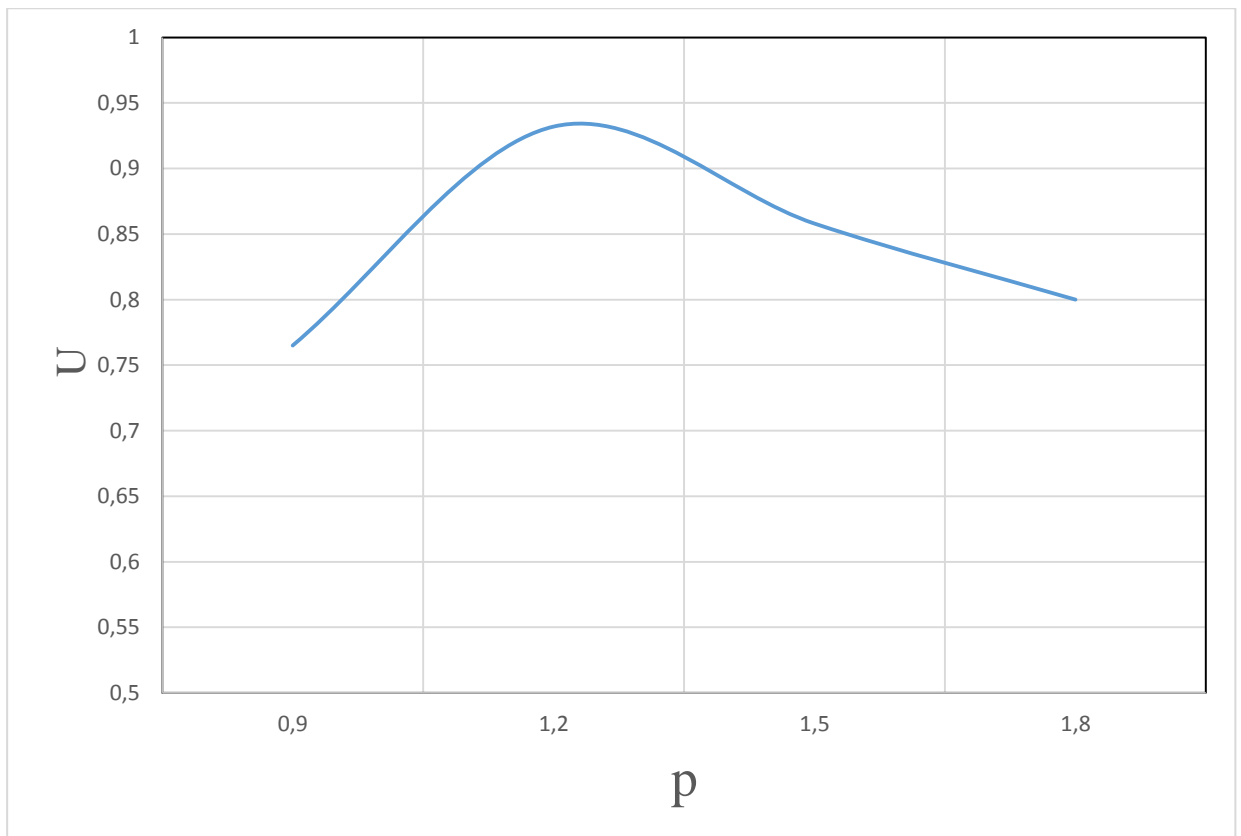
Для  $P_k = 1,5$  бар.:

$$U = 0,8 \frac{0,83 * 469 * 0,718 - 0,925 * 451 * 0,43}{0,925 * 451 * 0,43 - 0,81 * 443 * 0,247} = 0,8 \frac{276 - 179}{179 - 88,6} = 0,858$$

Для  $P_k = 1,8$  бар.:

$$U = 0,8 \frac{0,83*469*0,7 - 0,925*451*0,389}{0,925*451*0,389 - 0,81*443*0,145} = 0,8 \frac{272,49 - 162,3}{162,3 - 52} = 0,8$$

На підставі проведених обчислень і в результаті визначення коефіцієнтів інжекції для 5-ти значень тиску інжектованої пари на вході в камеру змішування, а саме:  $P_k = 0,9; 1,07; 1,2; 1,5; 1,8$  будуємо графік залежності  $U = f(P_k)$ [7]



Таким чином максимальному коефіцієнту інжекції відповідає значення  $P_k = 1,2$  бар.,  $U = 0.93$ .

Все вище зазначене стосується випадку стиснення в пароструминному компресорі вторинної пари 2-го корпусу ВУ до тиску грійної пари в першому корпусі ВУ.

При стисненні вторинної пари 5-го корпусу до тиску вторинної пари 1-го, 2-го, 3-го корпусів ВУ згідно методики розрахунку коефіцієнта інжекції одержимо, що значення  $U$ , виявляється однаковим для всіх значень тиску, до якого стискаємо пару.

Такий результат не відповідає фізичній суті роботи ПК. Тому дану розрахункову частину обмежуємо визначенням коефіцієнта інжекції безпосередньо з графіка на рис. 3.1.

Зокрема при стисненні вторинної пари 5-го корпусу з  $P_{\text{поч}} = 0,7$  бар до тиску вторинної пари 1-го корпусу  $P_c = 2,7$  бар матимемо:

$$\frac{P_c}{P_{\text{поч}}} = \frac{2,7}{0,7} = 3,85; \quad \frac{P_p}{P_{\text{поч}}} = \frac{35}{0,7} = 50; \quad U = 0,4.$$

При стисненні вторинної пари 5-го корпусу з  $P_{\text{поч}} = 0,7$  бар до тиску вторинної пари 2-го корпусу  $P_c = 1,98$  бар матимемо:

$$\frac{P_c}{P_{\text{поч}}} = \frac{1,98}{0,7} = 2,83; \quad \frac{P_p}{P_{\text{поч}}} = \frac{35}{0,7} = 50; \quad U = 0,6.$$

При стисненні вторинної пари 5-го корпусу з  $P_{\text{поч}} = 0,7$  бар до тиску вторинної пари 3-го корпусу  $P_c = 1,53$  бар матимемо:

$$\frac{P_c}{P_{\text{поч}}} = \frac{1,53}{0,7} = 2,19; \frac{P_p}{P_{\text{поч}}} = \frac{35}{0,7} = 50; U = 1,1$$

Для визначених величин коефіцієнта інжекції для кожного з варіантів використання пароструминних компресорів розраховуємо величини відборів вторинної пари з 5-го корпусу на ВУ та витрати на випарну установку.

У представленому нижче розрахунку системи теплоенерговикористання цукрового заводу визначені величини відборів пари на підігрівники соку та на вакуум-апарати 2 та 3 продукту (пам'ятаємо що вакуум-апарати 1-го продукту не споживають вторинну пару з корпусів ВУ, а використовують на свої потреби стиснену механічним компресором вторинну пару). У згаданому розрахунку величини відборів вторинної пари з корпусів ВУ дорівнюють[5]:

$$E_1 = 54,3 \text{ кг/т бур.}; E_2 = 15,5 \text{ кг/т бур.}; E_3 = 135,2 \text{ кг/т бур.}; E_4 = 49,2 \text{ кг/т бур.};$$

$$E_5 = 29,1 \text{ кг/т бур.};$$

Сума відборів дорівнює:

$$\sum_{i=1}^5 Ei = 54,3 + 15,5 + 135,2 + 49,2 + 29,1 = 283,3 \text{ кг/т бур}$$

За рахунок цих відборів випаровується вода в кількості:

$$\sum_{i=1}^5 Ei = 1 * 54,3 + 2 * 15,5 + 3 * 135,2 + 4 * 49,2 + 5 * 29,1 = 833,6 \text{ кг/т бур}$$

Необхідна продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = 879,6 \text{ кг/т бур}$$

Для варіанту використання ПК, що стискає вторинну пару 5-го корпусу до тиску вторинної пари 1-го корпусу, отримана така залежність для фактичної продуктивності ВУ:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 iEi + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - \frac{h_0 + U * h_5''}{h_1''} \right) = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} \quad (1,38)$$

В цій формулі невідома лише величина відбору вторинної пари 5 корпусу в ПК, що стискає її до тиску грійної пари на 1-й корпус. Тоді:

$$879,6=833,4+\Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - \frac{3303+0,4*2660,3}{0,4*2720,7} \right), \text{ звідси}$$

$$\Delta E_5^{\text{ПК}} = 40,2 \text{ кг/т}$$

Витрату технологічної пари на ВУ, що являє собою суму витрат технологічної пари (після ОУ парової турбіни та РОУ) та гострої пари в ПК, визначаємо за формулою одержаною раніше:

$$D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{U*h_1'' - h_0 - U*h_5''}{U*h_1''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}} \quad (1,39)$$

В цій формулі витрата гострої пари в ПК  $d_0$  визначимо за відомими:

$$U = 0,4 \text{ та } \Delta E_5^{\text{ПК}} = 40,2 \text{ кг/т}$$

$$d_0 = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}}}{U} = \frac{40,2}{0,4} = 100 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$$

Тоді:

$$D_{\text{ВУ}} = 283,3 + 40,2 \left( \frac{3303+0,4*2660,3}{0,4*2720,7} \right) + 100 * \frac{3303}{2734,6} = 283,3 + 40,2(1 - 4,1) + 120 = 278,68 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для варіанту, коли в ПК стискається вторинна пара 5-го корпусу ВУ до тиску вторинної пари 2-го корпусу.

Фактичну продуктивність ВУ обраховуємо за одержаною формулою:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i + 5\Delta E_5^{\text{ПК}} - 2(\Delta E_5^{\text{ПК}} + d_0) \frac{h_{\text{сум}}}{h_2''} = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}}$$

Ентальпія суміші пари після ПК для всіх варіантів приблизно дорівнює 3000 кДж/кг. Оскільки для даного варіанту коефіцієнт інжекції дорівнює  $U = 0,6$  підставимо його замість  $d_0$  у вираз

$$d_0 = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}}}{U}$$

і маємо:

$$879,6=833,4+5*\Delta E_5^{\text{ПК}} - 2\Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 1 + \frac{1}{0,6} \right) * \frac{3000}{2706,6}$$

З цього рівняння одержуємо, що

$$\Delta E_5^{\text{ПК}} = 19,25 \frac{\text{кГ}}{\text{т}}$$

Тоді витрата гострої пари в ПК дорівнює:

$$d_0 = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}}}{U} = \frac{19,25}{0,6} = 32 \frac{\text{кГ}}{\text{т}}$$

Для визначення витрати технологічної пари для варіанту що розглядається використовуємо одержану раніше формулу:

$$D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{U \cdot h_2'' - h_0 - U \cdot h_5''}{U \cdot h_2''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}};$$

$$D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \frac{0,6 \cdot 2706,6 - 3303 - 0,6 \cdot 2660,3}{0,6 \cdot 2706,6} + E_5^{\text{ПК}} \frac{3303,6}{0,6 \cdot 2734,6} = 283 \frac{\text{кГ}}{\text{т}}.$$

Для варіанту, коли в ПК стискається вторинна пара 5 корпусу ВУ до тиску вторинної пари 3-го корпусу, фактична продуктивність ВУ визначається за формулою[5]:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 i E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - 3 \frac{h_0 + U \cdot h_5''}{h_3''} \right);$$

Як зазначалося, для цього варіанту  $U = 1,1$ . Тоді:

$$W_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 i E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( 5 - 3 \frac{3303 + 1,1 \cdot 2660,3}{1,1 \cdot 2694,8} \right) = \sum_{i=1}^5 i E_i + 2,9 \Delta E_5^{\text{ПК}};$$

Таким чином:

$$\Delta E_5^{\text{ПК}} = W_{\text{ВУ}} - \sum_{i=1}^5 i E_i = \frac{879,6 - 833,4}{2,9} = 15,9 \frac{\text{кГ}}{\text{т}}$$

Витрата гострої пари в пароструминний компресор дорівнює:

$$d_0 = \frac{\Delta E_5^{\text{ПК}}}{U} = \frac{15,9}{1,1} = 14,5 \frac{\text{кГ}}{\text{т}}$$

Витрата технологічної пари на ВУ, згідно одержаного раніше рівняння, дорівнює:

$$D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i + \Delta E_5^{\text{ПК}} \left( \frac{U \cdot h_3'' - h_0 - U \cdot h_5''}{U \cdot h_3''} \right) + d_0 * \frac{h_0}{h_{\text{техн}}};$$

$$D_{\text{ВУ}} = 283 + 15,9 \left( \frac{1,1 \cdot 2694,6 - 3303 - 1,1 \cdot 2660,3}{1,1 \cdot 2694} \right) + 15,9 * \frac{3303}{1,1 \cdot 2694} = 283 - 1,1 * 15,9 + 1,1 * 15,9 = 283 \text{ кг/т}$$

Таким чином витрата пари на ВУ для варіанту, коли вторинна пара 5-го корпусу стискається до тиску вторинної пари 1-го корпусу дорівнює  $D_{\text{ВУ}} = 278,7$  кг/т. При стисканні цієї ж пари до тиску вторинної пари 2-го корпусу одержали що  $D_{\text{ВУ}} = 283$  кг/т, а при стисканні до тиску вторинної пари 3-го корпусу  $D_{\text{ВУ}}$  також дорівнює 283 кг/т.

Розглянуті варіанти використання ПК практично рівнозначні за витратою пари на ВУ.

#### **Розділ №4. Розрахунок схеми теплоенерговикористання цукрового заводу з використанням пароструминного компресора**

##### **1. Вихідні дані для розрахунку**

1. Продуктивність цукрового заводу  $A = 6$  тисяч буряків на добу, цукристість цукрових буряків  $D = 16,5$  %.
2. Дифузійна установка – нахилена шнекова дифузійна установка.
3. Величина відкачки дифузійного соку  $S_{\text{відк}} = 1050$  кг/т (105%).
4. Вміст сухих речовин в жомі після дифузійного апарату 7,5%, а після жомових пресів 30%.
5. Схема очистки дифузійного соку – з прогресивною попередньою дефекацією та холодногарячою основною дефекацією з поверненням суспензії соку 2 сатурації у кількості 8% і 30% соку 1 сатурації.
6. Для живлення дифузійного апарата використати воду після жомових пресів (її температура 53°C, а на вході в дифузійний апарат 75°C та конденсат з останніх корпусів ВУ).
7. Випарна установка (ВУ) 5-ти корпусна з підвищеним температурним режимом.
  - 7.1 Випарні апарати – на 1-ому та 2-ому корпусах встановити однопрохідні випарні апарати з підйомним рухом двофазного потоку, на 3-5 корпусах – однопрохідні випарні апарати з гравітаційно стікаючою плівкою .
  - 7.2 Режим роботи ВУ - безнакипний.
  - 7.3 Коефіцієнт використання поверхні нагріву для всіх корпусів ВУ – 0.9.
  - 7.4 Регулювання продуктивності ВУ виконується з метою забезпечення рівності необхідної і фактичної продуктивності ВУ за допомогою пароструминного компресора (ПК), який стискає вторинну пару з 2-го корпусу ВУ до тиску пари, яка надходить а 1-ий корпус ВУ.
8. Концентрація сиропу після ВУ 72%.
9. Для роботи вакуум-апаратів 1-го продукту як грійну пару застосувати вторинну пару з цих же вакуум-апаратів, яка стискається механічним компресором і має температуру насичення 105°C.

10. В технологічній схемі ТЕЦ експлуатуються деаератори атмосферного тиску з робочою температурою 104,80С.

11. Відведення конденсатів з обладнання здійснити в збірники. В конденсатній схемі використати каскадне охолодження конденсату з одержанням пари самовипаровування якомога вищого потенціалу.

12. В продуктовому цеху реалізувати 3-х продуктову схему уварювання утфелів I,II,III кристалізації.

2. Приймаємо температурний режим на ВУ.

За умовам пункту 5 вихідних даних для розрахунку вибираємо випарну установку, температурний режим, якої докладно наведено в (Додатку 1).

3. Складаємо таблицю кількості напівпродуктів та продуктів цукрового виробництва, в тому числі тих, які підлягають тепловій обробці згідно теплотехнологічної схеми заводу, на підставі вихідних даних та даних Додатку №1.

(Дану таблицю наведено в Додатку 2).

Визначаємо кількість соку 2-ої сатурації, що відбирається на клерування жовтого цукру 2-ої кристалізації,  $S_{2\text{сат}}^{\text{кл}}$ , за формулою:

$$S_{2\text{сат}}^{\text{кл}} = \left( \frac{1023,7 - 10,5 \cdot \text{CP}_{\text{сир}}}{(\text{CP}_{\text{сир}} - \text{CP}_{\text{ПВУ}})} \right) \cdot 10 = \left( \frac{1023,7 - 10,5 \cdot 72}{72 - \frac{16,5 + 0,5}{1171 - 50} 1000} \right) \cdot 10 = \frac{47,1 \text{ кг}}{\text{т}}$$

#### 4.1. Тепловий розрахунок нахиленої шнекової дифузійної установки.

Вихідні дані:

1. Кількість бурякової стружки,  $S_{\text{стр}} = 1000$  кг/т.
2. Величина відкачки дифузійного соку,  $S_{\text{відк}} = 1050$  кг/т
3. Вихід жому,  $S_{\text{ж}} = 800$  кг/т, вміст сухих речовин в жомі після дифузійного апарату  $\text{CP}_{\text{ж}} = 7,5\%$ , а після пресування жому  $-\text{CP}_{\text{ж.пр.}} = 30\%$ .
4. Температура стружки,  $t_{\text{стр}} = 10^{\circ}\text{C}$ .
5. Температура живильної води (конденсату), що надходить в дифапарат,
6.  $t_2^{\text{жив}} = 65^{\circ}\text{C}$ .
7. Температура жомопресової води, що надходить в дифузійний апарат,
8.  $t_2^{\text{ж.в.}} = 75^{\circ}\text{C}$ , а після жомових пресів  $t_1^{\text{ж.в.}} = 53^{\circ}\text{C}$ .
9. Середня температура в дифузійному апараті,  $t_{\text{диф}} = 70^{\circ}\text{C}$ .
10. Температура дифузійного соку (соку відкачки)  $t_{\text{відк}} = 30^{\circ}\text{C}$ .
11. Коефіцієнт використання теплоти  $\eta_{\text{диф}}$

## Розрахунок

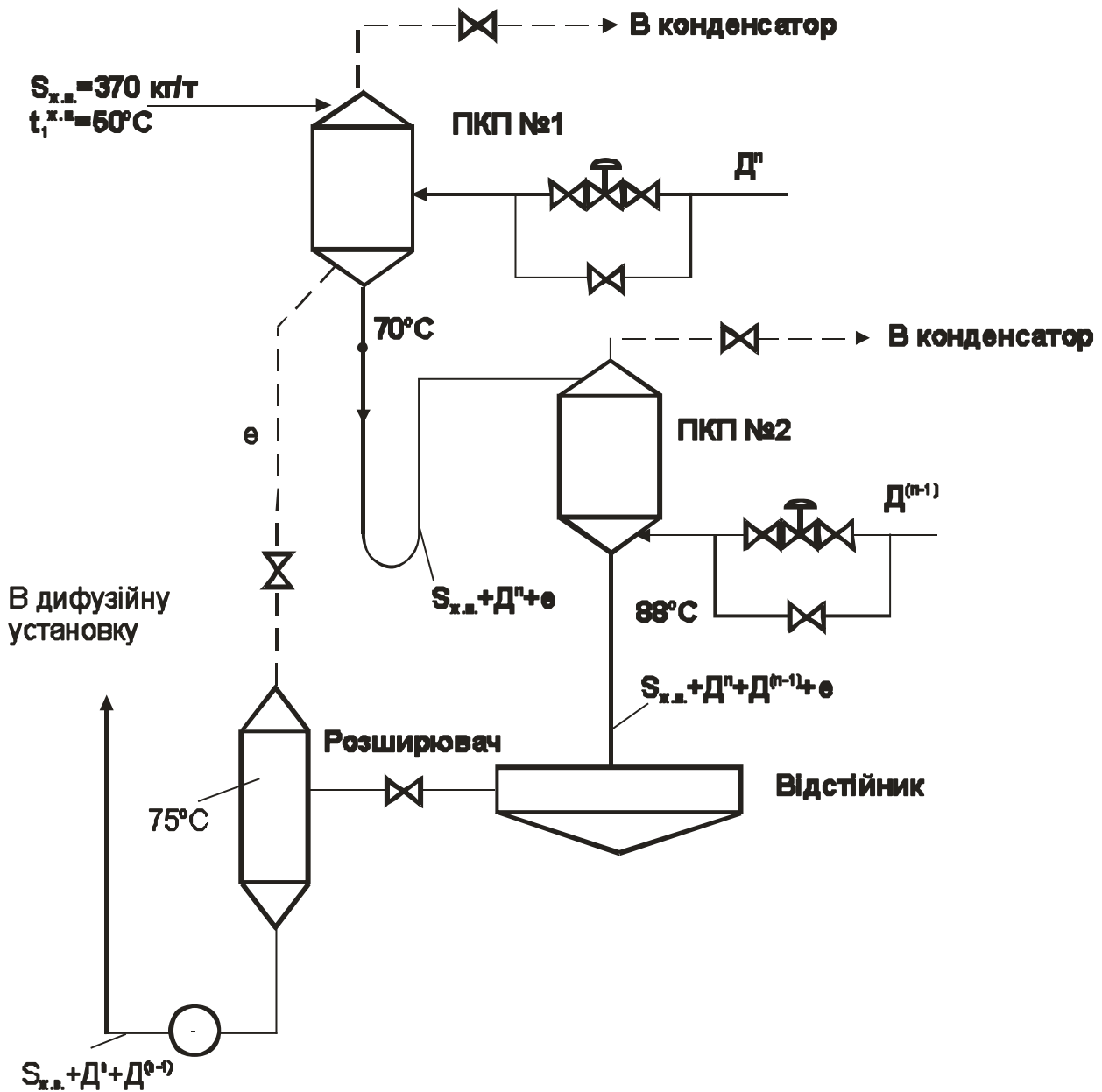


Рис.4.1. Принципова схема підготовки жомпресової води[4]

Кількість жомпресової води після пресів дорівнює:

$$S'_{\text{ж.в.}} = S_{\text{ж}} \cdot \left(1 - \frac{CP_{\text{ж}}}{CP_{\text{ж.пр.}}}\right), \text{ кг/т,}$$

де значення величин  $S_{\text{ж}} = \frac{800 \text{ кг}}{\text{т}}$ ,  $CP_{\text{ж}} = 7,5\%$ ,  $CP_{\text{ж.пр.}} = 30\%$ .

Тоді матимемо:  $S'_{\text{ж.в.}} = 800 \cdot \left(1 - \frac{7,5}{30}\right) = 600 \text{ кг/т}$

Приймаємо робочу температуру в пароконтактному підігрівнику №1 рівною  $70^\circ\text{C}$ , а в ПКП №2 –  $88^\circ\text{C}$ .

Складаємо рівняння теплового балансу ПКП №1:

$$S'_{\text{ж.в.}} \cdot t_1^{\text{ж.в.}} \cdot c_{\text{ж.в.}} + D^n (h''_{\text{п}} - 70 \cdot 4,19) + e (h''_{t=75} - 70 \cdot 4,19) = \\ = (S'_{\text{ж.в.}} + D^n + e) \cdot 70 \cdot 4,19 \cdot 1,03,$$

де:  $h''_{\text{п}} = 2660,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – ентальпія вторинної пари з останнього корпусу ВУ,

$h''_{t=75} = 2635,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – ентальпія насиченої пари при температурі 75°C,

1,03 – коефіцієнт, що враховує втрату теплоти в навколишнє середовище.

Тоді:

$$600 \cdot 53 \cdot 4,19 + D^n (2660,3 - 70 \cdot 4,19) + e (2635,3 - 70 \cdot 4,19) = (600 + D^n + e) \cdot 70 \cdot 4,19 \cdot 1,03.$$

Розв'язуючи це рівняння відносно  $D^n$  одержимо таку залежність:

$$D^n = 23,5 - 0,988 \cdot e,$$

де  $e$  – кількість пари самовипаровування, що утворюється в розширювачі з робочою температурою насиченої пари 75°C при надходженні в нього з відстійника нагрітої до 88°C жомопресової води та конденсату грійної пари з обох ПКП.

Складаємо рівняння теплового балансу ПКП №2:

$$((S'_{\text{ж.в.}} + D^n + e) \cdot 70 \cdot 4,19 + D^{(n-1)} \cdot (h''_{(n-1)} - 88 \cdot 4,19)) = \\ = (S'_{\text{ж.в.}} + D^n + e + D^{(n-1)}) \cdot 88 \cdot 4,19 \cdot 1,03,$$

де,  $h''_{(n-1)} = 2679,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – ентальпія насиченої вторинної пари передостаннього корпусу ВУ, кДж/кг.

$$\text{Тоді : } (600 + 23,5 - 0,988 \cdot e + e) \cdot 70 \cdot 4,19 + D^{(n-1)} (2679,5 - 88 \cdot 4,19) = \\ = (600 + 23,5 - 0,988 \cdot e + e + D^{(n-1)}) 88 \cdot 4,19 \cdot 1,03,$$

$$(623,5 + 0,012 \cdot e) \cdot 293,3 + D^{(n-1)} \cdot 2310,78 = (623,5 + 0,012 \cdot e + D^{(n-1)}) \cdot 379,78,$$

Звідки  $D^{(n-1)} = 27,9 - 0,0005 \cdot e$ , тому, нехтуючи другим доданком, маємо:

$$D^{(n-1)} = 27,9 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$$

Рівняння теплового балансу розширювача:

$$(S'_{\text{ж.в.}} + D^n + e + D^{(n-1)}) \cdot 88 \cdot 4,19 = (S'_{\text{ж.в.}} + D^n + D^{(n-1)}) \cdot 75 \cdot 4,19 + \\ + h''_{t=75} \cdot e.$$

Тоді:  $(600 + 23,5 - 0,988 \cdot e + e + 27,9) \cdot 368,72 = (600 + 23,5 - 0,988 \cdot e + 27,9) \cdot 314,25 + 2635,3 \cdot e$ .

Розв'язавши це рівняння відносно  $e$  одержимо:  $e = 13,44$  кг/т.

Витрата пари на підігрівник ПКП №1 дорівнює:

$$D^n = 23,5 - 0,988 \cdot e = 23,5 - 0,988 \cdot 13,44 = 10,2 \text{ кг/т.}$$

Кількість жомопресової води, що надходить після розширювача в дифузійний апарат, дорівнює:

$$S_{\text{ж.в.}} = 600 + 10,2 + 27,9 = 638,1 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$$

Уточнюємо кількість живильної води, необхідної для роботи дифузійного апарату:

$$S_{\text{жив}} = S_{\text{відк}} + S_{\text{жому}} - S_{\text{стр}} - S_{\text{ж.в.}} = 1200 + 800 - 1000 - 638,1 = 361,9 \text{ кг/т}$$

Визначаємо температуру жому з теплового балансу 4-тої, по ходу стружки, (хвостової зона).

Сюди надходить теплота :

а) жому з температурою дифузії –  $S_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ж}} \cdot t_{\text{диф}}$ , кДж/т ;

б) жомопресової води –  $S_{\text{ж.в.}} \cdot C_{\text{ж.в.}} \cdot t_2^{\text{ж.в.}}$ , кДж/т ;

в) живильної води –  $S_{\text{жив}} \cdot C_{\text{жив}} \cdot t_2^{\text{жив}}$ , кДж/т.

Після змішування потоків отримаємо температуру  $t_{\text{ж}}$ , звідси:

$$S_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ж}} \cdot t_{\text{диф}} + S_{\text{ж.в.}} \cdot C_{\text{ж.в.}} \cdot t_2^{\text{ж.в.}} + S_{\text{жив}} \cdot C_{\text{жив}} \cdot t_2^{\text{жив}} = 1,01 \cdot (S_{\text{ж}} + S_{\text{ж.в.}} + S_{\text{жив}}) \cdot C_{\text{сум}} \cdot t_{\text{ж}}$$

де- 1,01 – коефіцієнт, що враховує втрату теплоти в навколишнє середовище

Приймаючи, що

$$C_{\text{ж}} = C_{\text{ж.в.}} = C_{\text{жив}} = C_{\text{сум}} = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Визначаємо температуру жому:

$$t_{\text{ж}} = \frac{S_{\text{ж}} \cdot t_{\text{диф}} + S_{\text{ж.в.}} \cdot t_2^{\text{ж.в.}} + S_{\text{жив}} \cdot t_2^{\text{жив}}}{1,01 \cdot (S_{\text{ж}} + S_{\text{ж.в.}} + S_{\text{жив}})} = \frac{800 \cdot 70 + 638,1 \cdot 75 + 361,9 \cdot 65}{1,01 \cdot (800 + 638,1 + 361,9)} = \frac{56000 + 47857,5 + 23523,5}{1,01 \cdot 1800} = 70^\circ\text{C}.$$

Визначаємо витрату теплоти на дифузійний апарат (в парові камери) :

$$=1050 \cdot 3,77 \cdot 30 + 800 \cdot 4,19 \cdot 70 - (1000 \cdot 3,77 \cdot 10 + 638,1 \cdot 4,19 \cdot 75 + 361,9 \cdot 4,19 \cdot 65) =$$

$$=16600 \text{ кДж/т.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання теплоти  $\eta_{\text{диф}} = 0,9$  отримаємо,

$$Q_{\text{диф}} = \frac{16600 \text{ кДж}}{0,9} \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 14940 \frac{\text{кДж}}{\text{т}}.$$

За цією величиною визначається витрата пари в грючі камери дифузійного апарату[4].

#### 4.2. Формування нагрівання напівпродуктів в підігрівниках, обрахування витрати теплоти і пари на підігрівники.

Нагрівання соку після попередньої дефекації перед основною гарячою дефекацією починаємо від початкової температури  $t'_c$  до  $90^\circ\text{C}$ . [5]

Визначаємо значення температури  $t'_c$ . На попередній дефекації перемішується дифузійний сік з температурою  $t_c = 30^\circ\text{C}$  з поверненим нефільтрованим соком І сатурації в кількості  $S_{\text{нов}}^{Ic} = 300 \text{ кг/т}$ , що має температуру біля  $t_{\text{нов}}^{Ic} = 83^\circ\text{C}$ , та з поверненою суспензією соку ІІ сатурації в кількості  $S_{\text{нов}}^{\text{сусн}} = 80 \text{ кг/т}$  температурою  $t_{\text{нов}}^{\text{сусн}} = 85^\circ\text{C}$ .

Тоді:

$$S_{\text{відк}} \cdot t_c \cdot c_c + S_{\text{нов}}^{Ic} \cdot t_{\text{нов}}^{Ic} \cdot c_c + S_{\text{нов}}^{\text{сусн}} \cdot t_{\text{нов}}^{\text{сусн}} \cdot c_{\text{сусн}} = (S_{\text{відк}} + S_{\text{нов}}^{Ic} + S_{\text{нов}}^{\text{сусн}}) c_c \cdot t'_c$$

Звідси:

$$t'_c = \frac{1050 \cdot 30 \cdot 3,77 + 300 \cdot 83 \cdot 3,77 + 80 \cdot 85 \cdot 3,35}{(1050 + 300 + 80) \cdot 3,77} = 43,6^\circ\text{C}.$$

Через те, що вихідними даними передбачена потреба у використанні теплоти вторинної пари вакуум-апаратів ІІ та ІІІ кристалізації та теплоти конденсатів останніх корпусів випарної установки, підігрівання соку перед основною гарячою дефекацією організуємо в чотирьох групах підігрівників такими теплоносіями:

1-ша група – від  $43,56^\circ\text{C}$  до  $54^\circ\text{C}$  - вторинною парою вакуум-апаратів;

2-га група – від 54 оС до 70 оС – конденсатом останніх корпусів ВУ ;

3-тя група – від 70 оС до 80 оС – вторинною парою останнього корпусу ВУ;

4-та група – від 80 оС до 90 оС – вторинною парою передостаннього корпусу ВУ.

Нагрівання соку перед II сатурацією від від 83 оС до 95 оС реалізуємо в одній групі підігрівників.

З урахуванням обчислених величин складаємо таблицю розрахунку витрати тепла і пари на нагрівання напівпродуктів. (Таблицю зображено в Додатку 3).

#### 4.2.1 Визначення витрати пари на вакуум-апарати.

Витрата пари вакуум-апарати першого продукту.

Кількість води, яку потрібно випарувати в процесі уварювання утфелю I продукту, обчислюємо за рівнянням:

$$W_{\text{вп}} = (S_{\text{сир}} + S_{\text{кл}}) \left(1 - \frac{CP_{\text{сир}}}{CP_{yI}}\right).$$

З таблиці напівпродуктів та продуктів отримуємо, що  $S_{\text{сир}} + S_{\text{кл}} = 386,6$  кг/т та їх концентрація  $CP_{\text{сир}} = 72\%$ .

Концентрація утфелю I кристалізації  $CP_{\text{сир}} = 92\%$ .

Тоді:

$$W_I = 386,6 \left(1 - \frac{72}{92}\right) = 84,28 \text{ кг/т.}$$

Витрата пари на одержання утфелю I кристалізації

$$D_I = 1.1 W_I + C_I,$$

де:  $C_I$  – враховує можливі водні підкачки в процесі уварювання утфелю.

Прийmemo  $C_I = 10$  кг/т.

Таким чином отримаємо:

$$D_I = 1.1 \cdot 84,28 + 10 = 102,7 \text{ кг/т.}$$

Витрата пари на вакуум-апарати II-го продукту.

Через те, що на уварювання утфелю II кристалізації, з концентрацією  $CP_{ут. II} = 93\%$  використовуємо 1-й відтік утфелю I кристалізації, що дорівнює  $S_{Iкр}^{відт} = 124$  кг/т концентрацією  $CP_{Iкр}^{відт} = 687\%$ , то кількість випареної води буде визначатись як:

$$W_{II} = S_{Iкр}^{відт} \left(1 - \frac{CP_{Iкр}^{відт}}{CP_{умIIкр}}\right) + S_{Iкр}^{відт} \left(1 - \frac{CP_{Iкр}^{відт}}{CP_{умIIкр}}\right) =$$

$$124 \left(1 - \frac{687}{93}\right) + 60 \left(1 - \frac{676}{93}\right) = 327 + 164 = 491 \text{ кг/т}$$

Витрата пари на вакуум-апарати II продукту складає

$$D_{II} = 1,1W_{II} + C_{II} = 1,1 \cdot 49,1 + 7 = 61 \text{ кг/т.}$$

Витрата пари на вакуум-апарати 3-го продукту.

Утфель 3-ї кристалізації з концентрацією 93.5%, уварюється із загального відтоку утфелю 2 кристалізації у кількості:

$S_{умIIкр}^{відт} = 81 \text{ кг/т}$  концентрацією  $CP_{умIIкр}^{відт} = 873\%$  та з афінаційного відтоку  $S_{аф}^{відт} = 14 \text{ кг/т}$  концентрацією  $CP_{аф}^{відт} = 789\%$ .

Тоді

$$W_{III} = S_{умIIкр}^{відт} \left(1 - \frac{CP_{умIIкр}^{відт}}{CP_{умIIIкр}}\right) + S_{аф}^{відт} \left(1 - \frac{CP_{аф}^{відт}}{CP_{умIIIкр}}\right) =$$

$$81 \left(1 - \frac{873}{935}\right) + 14 \left(1 - \frac{789}{935}\right) = 5,37 + 2,18 = 7,55 \text{ кг/т}$$

Витрата пари на вакуум-апарати III продукту дорівнює

$$D_{III} = 1,1W_{III} + C_{III} = 1,1 \cdot 7,55 + 2 = 10,3 \text{ кг/т.}$$

Визначаємо необхідну продуктивність випарної установки

$$W_{ву}^{необ} = S_{ПВУ} \cdot \left(1 - \frac{CP_{ПВУ}}{CP_{сир}}\right) = 1113,4 \cdot \left(1 - \frac{15,27}{72,7}\right) = 879,6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$$

### 4.3. Складання принципової схеми відведення, збирання та використання конденсатів.

Згідно з вихідними даними, відведення конденсатів здійснюється в збірники. Конденсатною схемою передбачено окремі каскадні перепуски конденсатів відпрацьованої пари і вторинної пари з першого корпусу ВУ.

Збірник конденсату відпрацьованої пари має 5 секцій. В 1-шу секцію конденсат надходить з температурою близько 137°C (вона на 3-4°C менша температури насичення грійної пари, через часткове охолодження конденсату при стіканні його по зовнішній поверхні кип'ятільних труб, які мають меншу температуру ніж грійна пара). [6]

Збірник конденсату вторинної пари першого корпусу випарної кстановки має 4 секції, які забезпечують його охолодження зі 129°C до 103,4°C і утворення пари

Самовипаровування у кількості  $e_2, e_3, e_4$ . З останньої секції збірника конденсату вторинної пари 1 – го корпусу конденсат у кількості  $0,25 G_K^p (G_K^p - \text{кількість конденсату відпрацьованої пари, що надійшла в першу секцію збірника цього конденсату})$  повертається в ТЕЦ. Конденсат, що залишається в останній секції з температурою 103,4°C, через регулятор рівня надходить у збірник-випаровувач конденсату вторинної пари четвертого корпусу ВУ, температура в якому рівна 91.9°C .

Таким чином відповідно до конденсатної схеми, утворюється пара самовипаровування у кількості:

$$e_1, \quad e_2 = e_2' + e_2'', \quad e_3 = e_3' + e_3'', \quad e_4 = e_4' + e_4'' + e_4^{TM} + e_4^{TM'}$$

Попередньо приймаємо, що  $e_1 = \frac{3\text{кг}}{\text{т}}, e_2 = 4 \frac{\text{кг}}{\text{т}}, e_3 = 5\text{кг/т}, e_4 = \frac{6\text{кг}}{\text{т}}, e_5 = 8\text{кг/т}.$

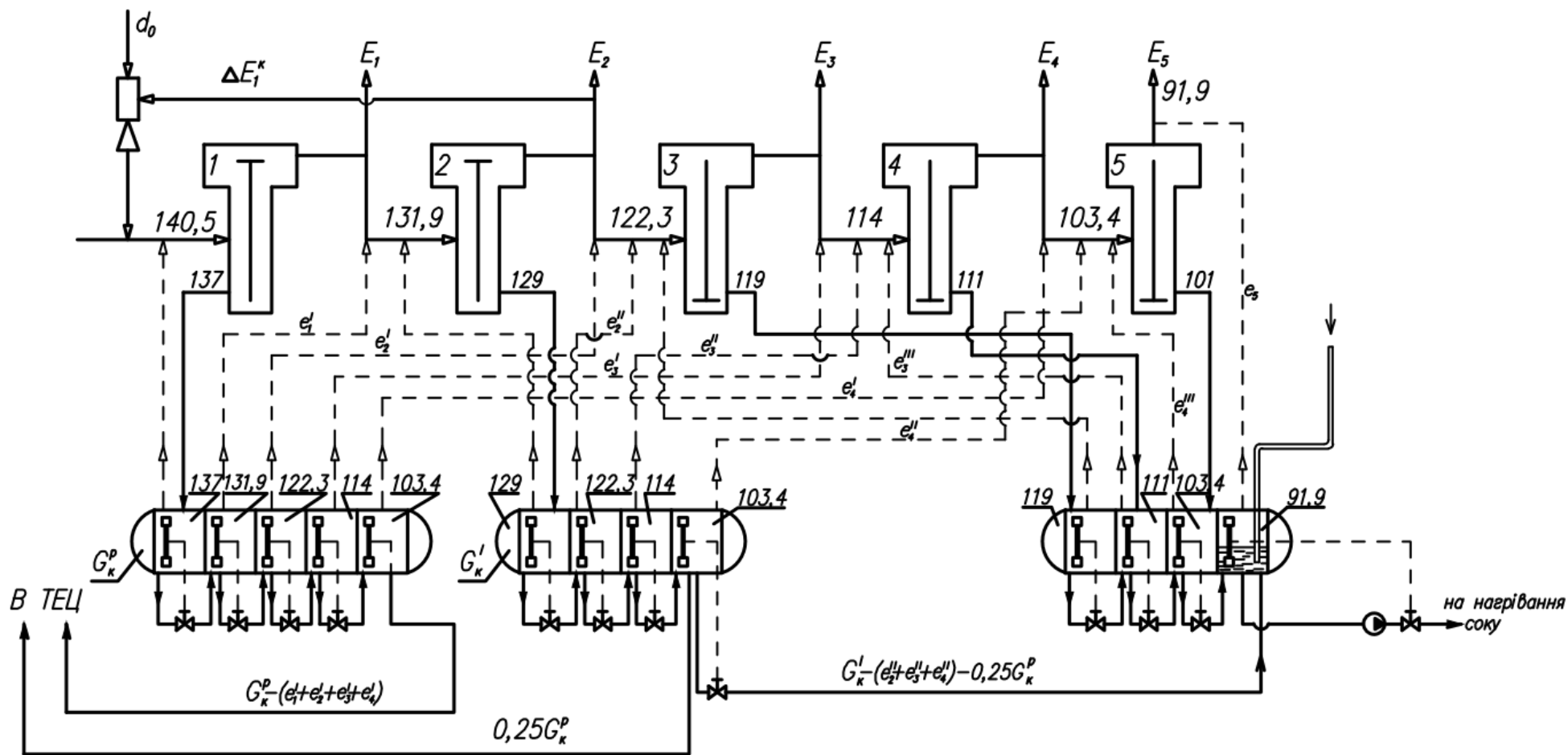


Рис. 4.2. Принципова схема відведення, збирання і використання конденсатів

Величини відборів вторинної пари з корпусів ВУ дорівнюють:

$$E'_1=54,3\text{кг/т}, E'_2 = 15,5 \frac{\text{кг}}{\text{т}}, E'_3 =135,2 \text{ кг/т}, E'_4 = 49,2 \text{ кг/т}, E'_5=29,1 \text{ кг/т}.$$

Згідно визначених значень, величин відборів вторинної пари з корпусів ВУ, обчислюємо фактичну продуктивність окремих корпусів і ВУ в цілому.[2]

Продуктивність окремих корпусів ВУ:

$$W'_5 = E'_5 = 29,1 \text{ кг/т};$$

$$W'_4 = W'_5 + E'_4 = 29,1 + 49,2 = 78,3 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$$

$$W'_3 = W'_4 + E'_3 = 78,3 + 135,2 = 213,5 \frac{\text{кг}}{\text{т}};$$

$$W'_2 = W'_3 + E'_2 = 213,5 + 15,5 = 229 \frac{\text{кг}}{\text{т}};$$

$$W'_1 = W'_2 + E'_1 = 229 + 54,3 = 283,3 \text{ кг/т}.$$

Фактична продуктивність ВУ обчислюється як сума визначених продуктивностей окремих корпусів, тобто:

$$(W'_{\text{ВУ}})^{\text{факт}} = \sum_{i=1}^5 W'_i = 283,3 + 229 + 213,5 + 78,3 + 29,1 = 833,2 \text{ кг/т}.$$

Визначена фактична продуктивність ВУ  $(W'_{\text{ВУ}})^{\text{факт}} = 833,2 \text{ кг/т}$  менша необхідної продуктивності  $W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = 879,6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$  на величину  $\Delta W_{\text{ВУ}} = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} - (W'_{\text{ВУ}})^{\text{факт}} = 879,6 - 833,2 = 46,4 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ . Дефіцит фактичної продуктивності ВУ ліквідуємо за рахунок додаткового відбору вторинної пари другого корпусу в пароструминний компресор, для стискання його до тиску грійної пари на 1-ший корпус ВУ.[2]

При включенні ПК і відбору на нього пари в кількості  $\Delta E_2^{\text{ПК}}$  матимемо:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = W'_{\text{ВУ}} + \Delta E_2^{\text{ПК}} = 833,2 + 46,4 = 879,6 \text{ кг/т}.$$

Звідси:

$$\Delta E_2^{\text{ПК}} = \frac{46,4}{2} = 23,2 \frac{\text{кг}}{\text{т}}.$$

Визначимо фактичні продуктивності корпусів ВУ,  $W_i$ , з урахуванням відбору пари на ПК:

$$W_5 = W'_5 + \Delta E_2^{\text{ПК}} = 29,1 + 23,2 = 52,3 \text{ кг/т},$$

$$W_4 = W_5 + E_4 = 29,1 + 49,2 = 78,3 \text{ кг/т},$$

$$W_3 = W_4 + E_3 = 78,3 + 135,2 = 213,5 \text{ кг/т},$$

$$W_2 = W_3 + E_2 + \Delta E_2^{\text{ПК}} = 213,5 + 15,5 + 23,2 = 252,2 \text{ кг/т},$$

$$W_1 = W_2 + E_1 = 252,2 + 54,3 = 306,5 \text{ кг/т}.$$

Фактична продуктивність ВУ дорівнює:

$$W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}} = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = \sum_{i=1}^{i=5} E_i = 306,5 + 252,2 + 213,5 + 78,3 + 29,1 = 879,6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}.$$

Складаємо таблицю розподілу конденсату по збірниках відповідно до принципової схеми відведення конденсатів та таблиці розподілу відборів вторинної пари з копусів ВУ. А також визначаємо ряд величин, що входять до складу таблиці та необхідні для її подальшого складання. (Таблицю наведено в Додатку 4).

Визначаємо кількість конденсату вторинної пари 1-го корпусу, частина якого після збірника-випарника З-В 1к-3 надходить в ТЕЦ, а решта - в збірник – випарник, конденсату вторинної пари четвертого корпусу.

В ТЕЦ потрібно повернути конденсат кількість якого чисельно дорівнює:

$$G_{\text{конд}}^{\text{пов}} = 1,25 D_{\text{конд}}^{\text{техн}},$$

$$\text{де, } D_{\text{конд}}^{\text{техн}} = (D_{\text{ВУ}} = W_1) + D_{\text{інші}} = 306,5 + 35 = 341,5 \text{ кг/т/}.$$

Тоді:

$$G_{\text{конд}}^{\text{пов}} = 1,25 \cdot 341,5 = 427,1 \text{ кг/т}.$$

Така потреба в поверненому конденсаті забезпечується :

А) конденсатом відпрацьованої (технологічної) пари, яка відбирається зі схеми відведення конденсатів зі збірника-випаровувача ЗВ-4 у кількості 311,21 кг/т;

Б) конденсатом вторинної пари першого корпусу ВУ кількість якого дорівнює:

$$G_{1\text{к}}^{\text{пов}} = 427,1 - 311,21 = 115,9 \text{ кг/т}.$$

Отже з 278,2 кг/т конденсату вторинної пари 1-го корпусу, що збирається в збірнику-випаровувачі ЗВ-1к-3 ,115,9 кг/т відбираються в ТЕЦ для живлення парових ко-

тлів, а решта конденсату у кількості  $278,2-115,9=162,3$  кг/т направляється в збірник-випаровувач конденсату вторинної пари четвертого корпусу(З-В 4к).

В процесі складання таблиці № 5 (див. Додаток 5) визначимо фактичні кількості пари самовипаровування [2]:

1. в збірнику – випаровувачі №1 конденсату відпрацьованої пари:

$$e_1 = \frac{331,5 \cdot (136 - 131,9) \cdot 4,19}{r_{131,9} = 2169} = 2,58 \text{ кг/т};$$

2. в збірнику – випаровувачі №2 конденсату відпрацьованої пари:

$$e_2' = \frac{328,9 \cdot (131,9 - 122,3) \cdot 4,19}{r_{122,3} = 2169} = 6,0 \text{ кг/т};$$

3. в збірнику – випаровувачі №3 конденсату відпрацьованої пари:

$$e_3' = (322,9 \cdot (122,3 - 114) \cdot 4,19) / (r_{114} = 2219,5) = 5 \text{ кг/т};$$

4. в збірнику – випаровувачі №4 конденсату відпрацьованої пари:

$$e_4' = \frac{317,9 \cdot (114 - 103,4) \cdot 4,19}{r_{103,4} = 2248} = 6,3 \text{ кг/т}$$

5. в збірнику – випаровувачі №1 конденсату вторинної пари 1-го корпусу:

$$e_2'' = \frac{291,3 \cdot (128,9 - 122,3) \cdot 4,19}{r_{122,3} = 2169} = 3 \text{ кг/т};$$

6. в збірнику – випаровувачі №2 конденсату вторинної пари 1-го корпусу:

$$e_3'' = \frac{288,3 \cdot (122,3 - 114) \cdot 4,19}{r_{114} = 2219,5} = 4,5 \text{ кг/т};$$

7. в збірнику – випаровувачі №3 конденсату вторинної пари 1-го корпусу:

$$e_4'' = \frac{283,8 \cdot (114 - 103,4) \cdot 4,19}{r_{103,4} = 2248,2} = 5,6 \text{ кг/т};$$

8. в збірнику конденсату вторинної пари 3-го корпусу

$$e_3''' = \frac{442,3 \cdot (115,1 - 114) \cdot 4,19}{r_{114} = 2219,5} = 0,92 \text{ кг/т};$$

9. в збірнику конденсату вторинної пари 4-го корпусу:

$$e_4''' = \frac{497,8 \cdot (112,1 - 103,4) \cdot 4,19}{r_{103,4} = 2248} = 8,1 \text{ кг/т};$$

10. в збірнику-випаровувачі конденсату вторинної пари 4-го корпусу:

$$e_5^{\text{факт}} = \frac{652 \cdot (103,4 - 91,9) \cdot 4,19}{r_{91,9} = 2277,3} = 13,8 \text{ кг/т.}$$

Загальна фактична кількість пари самовипаровування дорівнює:

$$\begin{aligned} e_1^{\text{факт}} &= 2,6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}; e_2^{\text{факт}} = e_2' + e_2'' = 6,0 + 3,0 = 9 \text{ кг/т}; \\ e_3^{\text{факт}} &= e_3' + e_3'' + e_3''' = 5 + 4,5 + 0,92 = 10,42 \frac{\text{кг}}{\text{т}}; \\ e_4^{\text{факт}} &= e_4' + e_4'' + e_4''' = 6,3 + 5,6 + 8,1 = 20 \text{ кг/т} \\ e_5^{\text{факт}} &= 13,8 \text{ кг/т.} \end{aligned}$$

Уточнюємо фактичні величини відборів вторинної пари з корпусів ВУ з урахуванням обчисленої кількості пари самовипаровування та продуктивність корпусів ВУ.

Попередньо було прийнято, що  $E_1'' = 57,1 \text{ кг/т}$ ,  $E_2'' = 99,5 \text{ кг/т}$ ,  $E_5'' = 34,8 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ .

попередньо прийнято, що  $e_1 = 3 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ ,  $e_2 = 3 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ ,  $e_3 = 5 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ ,  $e_4 = 6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ ,  $e_5 = 8 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ .

Уточнені відбори вторинної пари з корпусів ВУ визначаються як:

$$E_i^{\text{ут}} = E_i + e_i - e_i^{\text{факт}}.$$

$$\text{Тоді: } E_1'' = E_1 + e_1 - e_1^{\text{факт}} = 54,3 + 3 - 2,6 = 53,9 \frac{\text{кг}}{\text{т}};$$

$$E_2'' = E_2 + e_2 - e_2^{\text{факт}} = 15,5 + 3 - 9 = 9,5 \text{ кг/т};$$

$$E_3'' = E_3 + e_3 - e_3^{\text{факт}} = 115,2 + 5 - 10,42 = 109,8 \text{ кг/т};$$

$$E_4'' = E_4 + e_4 - e_4^{\text{факт}} = 49,2 + 6 - 20 = 35,2 \text{ кг/т};$$

$$E_5'' = E_5 + e_5 - e_5^{\text{факт}} = 29,1 + 8 - 13,8 = 23,3 \text{ кг/т.}$$

Уточнена фактична продуктивність ВУ дорівнює:

$$\begin{aligned} (W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}})'' &= E_1'' + 2E_2'' + 3E_3'' + 4E_4'' + 5E_5'' = 53,9 + 2 \cdot 9,5 + 3 \cdot 109,8 \\ &+ 4 \cdot 35,2 + 5 \cdot 23,3 = 53,9 + 19 + 329,4 + 140,8 + 116,5 = 659,6 \text{ кг/т.} \end{aligned}$$

Уточнена на базі визначених кількостей пари самовипаровування фактична продуктивність ВУ

$(W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}})'' = 659,6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$  не забезпечує необхідну продуктивність ВУ =  $879,6 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ . а дефіцит продуктивності ВУ дорівнює:

$$(\Delta W_{\text{ВУ}})' = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} - (W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}})'' = 879,6 - 659,6 = 220 \text{ кг/т.}$$

Визначений дефіцит продуктивності ВУ повинен забезпечуватись відбором вторинної пари 2-го корпусу в пароструминний компресор, величина якого для наших умов визначається як[2]:

$$2\Delta E_2^{\text{ПК}} = (\Delta W_{\text{ВУ}})' = 220 \frac{\text{кг}}{\text{т}}, \text{ а } \Delta E_2^{\text{ПК}} = 110 \text{ кг/т.}$$

З урахуванням одержаного нового значення  $\Delta E_2^{\text{ПК}}$  продуктивність корпусів ВУ дорівнює:

$$W_5 = E''_5 = 23,3 \text{ кг/т;}$$

$$W_4 = E''_5 + E''_4 = 23,3 + 35,2 = 58,5 \text{ кг/т;}$$

$$W_3 = E''_5 + E''_4 + E''_3 = 23,3 + 35,2 + 109,8 = 168,3 \text{ кг/т;}$$

$$W_2 = W_3 + E''_2 + \Delta E_2^{\text{ПК}} = 168,3 + 9,5 + 110 = 287,8 \text{ кг/т;}$$

$$W_1 = W_2 + E''_1 = 287,8 + 53,9 = 341,7 \text{ кг/т;}$$

$$(W_{\text{ВУ}}^{\text{факт}})'' = W_{\text{ВУ}}^{\text{необ}} = \sum_{s=1}^5 W_s = 341,7 + 287,8 + 168,3 + 58,5 + 23,3 = 879,6 \text{ кг/т.}$$

Витрата пари на ВУ дорівнює :  $D_{\text{ВУ}} = \sum_{i=1}^5 E_i = 53,9 + 9,5 + 109,8 + 35,2 + 23,3 = 231,7 \text{ кг/т.}$

#### 4.4 Визначення концентрацію розчину на виході з корпусів ВУ.

Як зазначалось раніше, концентрація соку перед ВУ дорівнює  $СР_{\text{ВУ}} = 15,27\%$ , а його кількість 1113,4 кг/т.

Визначимо концентрацію розчину:

$$\text{після I корпусу: } СР_{1к} = \frac{15,27 \cdot 1113,4}{1113,4 - W'_1} = \frac{17001,6}{1113,4 - 341,7} = \frac{17001,6}{771,7} = 22, \%$$

$$\text{після II корпусу: } СР_{2к} = \frac{17001,6}{771,7 - W'_2} = \frac{17001,6}{771,7 - 287,8} = \frac{17001,6}{483,9} = 35,1\%;$$

$$\text{після III корпусу: } СР_{3к} = \frac{17001,6}{483,9 - W'_3} = \frac{17001,6}{483,9 - 168,3} = \frac{17001,6}{315,6} = 53,87\%;$$

$$\text{після IV корпусу: } СР_{4к} = \frac{17001,6}{315,6 - W'_4} = \frac{17001,6}{315,6 - 58,5} = \frac{17001,6}{257,1} = 66,1\%;$$

$$\text{після V корпусу: } СР_{5к} = \frac{17001,6}{257,1 - W'_5} = \frac{17001,6}{257,1 - 23,3} = \frac{17001,6}{233,8} = 72,7 \%$$

#### 4.5 Уточнення температурного режиму на випарній установці

Обираємо кількості питомого теплового навантаження корпусів ВУ,  $g_i$ :

1-ий корпус- 16 кВт/м<sup>2</sup>;

2-ий корпус- 12 кВт/м<sup>2</sup>,

3-ій корпус-10 кВт/м<sup>2</sup>;

4-ий корпус- 8 кВт/м<sup>2</sup>,

5 – ий корпус – 6кВт/м<sup>2</sup>.

Визначаємо теплову потужність окремих корпусів ВУ,  $Q_i$ , за формулою:

$$Q_i = \frac{(W_i)_{\text{сек}} \cdot r_i}{1000} \text{МВт},$$

де:  $r_i$ - це теплота пароутворення при температурі насичення вторинної пари , кДж/кг; [6]

$(W_i)_{\text{сек}}$  – кількість води, що випаровується за секунду у і-тому випарному апараті, кг/сек, вона обчислюється за формулою:

$$(W_i)_{\text{сек}} = \frac{W \cdot A_i}{24 \cdot 3600} = \frac{w_i \cdot 6000_i}{24 \cdot 3600} = 0,0694 \cdot \frac{W_i \text{кг}}{\text{сек}},$$

тут:  $W_i$  – питоме навантаження і-того корпусу ВУ в кг/тонну буряка, де -  $A$ - продуктивність заводу в тоннах за добу[2]

Величини  $(W_i)_{\text{сек}}$  для всіх корпусів наведені вище при визначенні навантаження корпусів ВУ

$$\text{Тоді: } Q_1 = \frac{0,0694 \cdot 341,7 \cdot 2168,9}{1000} = 51,43 \text{МВт};$$

$$Q_2 = \frac{0,0694 \cdot 287,8 \cdot 2186,3}{1000} = 43,7 \text{МВт};$$

$$Q_3 = \frac{0,0694 \cdot 168,3 \cdot 2213,2}{1000} = 25,85 \text{МВт};$$

$$Q_4 = \frac{0,0694 \cdot 58,5 \cdot 2238}{1000} = 9,09 \text{МВт};$$

$$Q_5 = \frac{0,0694 \cdot 23,3 \cdot 2266,2}{1000} = 3,7 \text{МВт}.$$

Визначаємо розрахункову поверхню нагріву корпусів ВУ за формулою:

$$F_i = \frac{Q_i \cdot 10^3}{q_i} \text{м}^2.$$

$$\text{Тоді: } F_1 = \frac{51,43 \cdot 10^3}{16} = 3214 \text{ м}^2, F_2 = \frac{43,7 \cdot 10^3}{12} = 3641 \text{ м}^2, F_3 = \frac{25,85 \cdot 10^3}{10} = 2585 \text{ м}^2,$$

$$F_4 = \frac{9,09 \cdot 10^3}{8} = 1136 \text{ м}^2, F_5 = \frac{3,7 \cdot 10^3}{6} = 616 \text{ м}^2.$$

Приймаємо для використання, як 1-5 корпуси ВУ стандартні поверхні нагріву випарних апаратів,  $F_{\text{станд}}$ .

Для першого корпусу ВУ приймаємо для установки два однопрохідні випарні апарати (з підйомним рухом двофазного потоку), площа поверхні нагріву по  $1800 \text{ м}^2$ . Разом  $F_1^{\text{уст}} = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ м}^2$ .

Для другого корпусу ВУ обираємо для установки два однопрохідні випарні апарати (з підйомним рухом двофазного потоку), площа поверхні нагріву кожного  $1800 \text{ м}^2$ . Разом  $F_2^{\text{уст}} = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ м}^2$ .

Для третього корпусу ВУ обираємо для установки однопрохідний випарний апарат типу розміру ТПВ-9-2430 з опускним рухом двофазного потоку і гравітаційно стікаючою плівкою розчину в середині труб, площа поверхні нагріву якого дорівнює  $2430 \text{ м}^2$ .

Для четвертого корпусу ВУ вибираємо для установки один однопрохідний випарний апарат з опускним рухом двофазного потоку і гравітаційно стікаючою плівкою розчину в середині труб, площа поверхні нагріву дорівнює  $F_4^{\text{уст}} = 1200 \text{ м}^2$ .

Для п'ятого корпусу ВУ обираємо для установки один однопрохідний випарний апарат з опускним рухом двофазного потоку і гравітаційно стікаючою плівкою розчину в середині труб, площа поверхні нагріву дорівнює  $F_5^{\text{уст}} = 1000 \text{ м}^2$ .

Сумарна питома площа поверхні нагріву ВУ,  $f_{\text{ВУ}}^{\text{сум}}$ , дорівнює:

$$f_{\text{ВУ}}^{\text{сум}} = \frac{\sum_{i=1}^5 F_i^{\text{уст}}}{6} = \frac{3600+3600+2430+1200+1000}{6} = 1972 \frac{\text{м}^2}{1000 \text{ тонн добової продукт.}}$$

Визначимо фактичні питомі теплові навантаження, що відповідають прийнятій для установки поверхні нагріву випарних апаратів:

$$q_i^{\text{факт}} = \frac{Q_i}{F_i^{\text{уст}}} = q_i \frac{F_i}{F_i^{\text{уст}}}, \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

$$\text{Тоді: } q_1^{\text{факт}} = \frac{51,43 \cdot 10^3}{3600} = 14,3 \text{ кВт/м}^2;$$

$$q_2^{\text{факт}} = \frac{43,7 \cdot 10^3}{3600} = 12,14 \text{ кВт/м}^2;$$

$$q_3^{\text{факт}} = \frac{25,85 \cdot 10^3}{2430} = 10,6 \text{ кВт/м}^2;$$

$$q_4^{\text{факт}} = \frac{9,09 \cdot 10^3}{1200} = 7,6 \text{ кВт/м}^2;$$

$$q_5^{\text{факт}} = \frac{3,7 \cdot 10^3}{1200} = 3,1 \text{ кВт/м}^2;$$

Умовно вважаючи незмінною величину коефіцієнта теплопередачі  $K_i$  на кожному з корпусів ВУ, визначаємо фактичну корисну різницю температур по корпусах ВУ:

$$\Delta t_i^{\text{факт}} = \frac{q_i^{\text{факт}}}{q_i} \cdot \Delta t_i,$$

де значення  $q_i$  обчислені вище, а  $\Delta t_i$  – обираємо з заданої таблиці температурного режиму на ВУ.

$$\text{Тоді: для 1-го корпусу ВУ- } \Delta t_1^{\text{факт}} = \frac{14,3}{16} \cdot 6 = 5,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{для 2-го корпусу ВУ- } \Delta t_2^{\text{факт}} = \frac{12,14}{12} \cdot 6 = 6,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{для 3-го корпусу ВУ- } \Delta t_3^{\text{факт}} = \frac{10,6}{10} \cdot 6 = 6,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{для 4-го корпусу ВУ- } \Delta t_4^{\text{факт}} = \frac{7,6}{8} \cdot 7 = 6,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{для 5-го корпусу ВУ- } \Delta t_5^{\text{факт}} = \frac{3,1}{6} \cdot 6 = 3,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Складаємо оновлену таблицю температурного режиму на ВУ з урахуванням обчислених значень  $\Delta t_i^{\text{факт}}$ , починаючи з зафіксованої температури грійної пари на перший корпус. Значення температурної депресії приймаємо такою ж, як і в заданій таблиці температурного режиму на ВУ. (Таблицю наведено в Додатку 5).

Зі складеної таблиці маємо, що температура нагрівної пари в першому корпусі ВУ дорівнює  $t_{\text{гр.п}}^{\text{Ік}} = 140,5^\circ\text{C}$ . Цій температурі відповідає тиск  $p_{\text{ПВУ}} = 3,66$  бар.

#### **4.6 Визначення витрати теплової енергії та необхідної теплової потужності для забезпечення технологічних потреб заводу.**

Визначаємо розрахункову питому витрату теплової енергії,  $Q_{\text{техн}}^{\text{розр}}$ .

На цукровий завод надходить технологічна пара з ТЕЦ у кількості, яка забезпечує потреби ВУ та інших споживачів у цій парі.[3]

Кількість теплоти, що надходить в завод з технологічною парою з ТЕЦ, складає:

$$Q'_{\text{зав}} = (D_{\text{ву}} + D_{\text{інші}}) \cdot h''_{\text{прот}}, \frac{\text{кДж}}{\text{т}}$$

де: величина  $D_{\text{ву}} = W_1 = 341,7$  кг/т та  $D_{\text{інші}} = 35$  кг/т;  $h''_{\text{прот}}$  - ентальпія технологічної пари, яку отримують після охолоджувальної установки турбіни в результаті охолодження перегрітої пари, яка надходить після турбіни, а також сухої насиченої пари після редуційно-охолоджувальної установки (РОУ). [2]

Тиск сухої насиченої пари після ОУ і РОУ,  $p_{\text{прот}}$ , однаковий та обчислюється як:

$$p_{\text{прот}} = p_{\text{ПВУ}} + 0,2 = 3,66 + 0,2 = 3,86 \text{ бар.}$$

В свою чергу,  $p_{\text{ПВУ}}$  відповідає температурі грійної пари на 1-ий корпус ВУ із оновленої таблиці температурного режиму на ВУ,  $p_{\text{ПВУ}} = f(140,5^\circ\text{C})=3,66 \text{ бар.}$

Тоді:

$$p_{\text{прот}} = 3,66 + 0,2 = 3,86 \text{ бар.}$$

Тиску 3,86 бар відповідає ентальпія  $h''_{\text{прот}} = 2733 \text{ кДж/кг}$

Таким чином з технологічною парою в завод надходить теплота у кількості

$$Q'_{\text{зав}} = (341,7+35) \cdot 2733 = 1,029 \cdot 10^6 \text{ кДж/т.}$$

Частина теплоти, що надходить з ТЕЦ в завод, надходить назад в ТЕЦ як теплота конденсатів, потрібних для живлення парових котлів, у кількості  $Q_{\text{конд}}^{\text{пов}}$ .

В ТЕЦ необхідно повернути конденсат у кількості:

$$G_{\text{конд}}^{\text{пов}} = 1,25 \cdot [D_{\text{ВУ}} + D_{\text{інші}}] = 1,25(341,7+35) = 1,25 \cdot 376,7 = 471,1 \text{ кг/т.}$$

На даному етапі розрахунку, що виконується необхідно уточнити кількості конденсатів, що повертаються назад в ТЕЦ, з урахуванням уточнених значень відборів вторинної пари з корпусів ВУ та їх продуктивностей.

Визначаємо фактичну кількість конденсату відпрацьованої пари, що повертається в ТЕЦ за формулою:

$$G_{\text{конд}}^{\text{відп}} = W_1^{\text{ут}} + D_{\text{ПВУ}}^{\text{ост гр}} - (e_1 + e_2 + e_3 + e_4) = 341,7 + 25 - (2,6 + 6 + 5 + 6,3) = 346,8 \text{ кг/т,}$$

де:  $W_1^{\text{ут}}$  – остаточно уточнена продуктивність 1-го корпусу ВУ;

$D_{\text{ПВУ}}^{\text{ост гр}}$  – кількість конденсату відпрацьованої пари, що надійшов з підігрівника соку останньої групи перед ВУ;

$e_1, e_2, e_3, e_4$  – обчислені при складанні таблиці конденсатів кількості пари самовипаровування. В таблиці конденсатів (див. Додаток 5) одержано, що кількість конденсату, що надійшла в ЗК-1, дорівнює  $291,3 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$ .

З урахуванням уточненої продуктивності 2 – го корпусу  $W_2^{\text{ут}} = 287,8 \text{ кг/т}$  фактична кількість конденсату в збірнику ЗК – 1 буде:

$$291,3 - 252,2 + 287,8 = 255,7 \text{ кг/т.}$$

Після останнього збірника-випаровувача (З-В1к-3) отримаємо конденсат вторинної пари 1-го корпусу у кількості:

$$(G_{\text{конд}}^{1\text{к}})_{\text{уточн}} = 255,7 - (e_2'' + e_3'' + e_4'') = 255,7 - (3 + 4,5 + 5,6) = 242,6 \text{ кг/т.}$$

Потреба в поверненому в ТЕЦ конденсаті ( $G_{\text{конд}}^{\text{пов}}$ )<sub>відпр</sub> =  $\frac{471,1\text{кг}}{\text{т}}$  покривається конденсатом відпрацьованої пари зі збірника випарника З-В-4 у кількості

$G_{\text{конд}}^{\text{відп}} = 346,8\text{кг/т}$  та конденсатом вторинної пари 1 – го корпусу у кількості  $(G_{\text{конд}}^{\text{пов}})^{1\text{к}} = 471,1 - 346,8 = 124,3\text{кг/т.}$

Решта конденсату вторинної пари 2 – го корпусу зі збірника-випаровувача (З-В1К-3) у кількості  $242,6 - 124,3 = 118,3 \text{ кг/т}$  приходить у збірник–випаровувач конденсату вторинної пари 4-го корпусу (З-В-4к).

Оскільки на ТЕЦ встановлені деаератори атмосферного тиску (з робочою температурою  $104,8^\circ\text{C}$ ), то температура поверненого в ТЕЦ конденсату має бути рівною  $100^\circ\text{C}$ . Це необхідно, щоб мати можливість використати теплоту пари з розширювача безперервної продувки та з розширювача дренажів низького тиску для догрівання поверненого в головку деаератора конденсату від  $100^\circ\text{C}$  до  $104,8^\circ\text{C}$ . [4]

Надходження конденсатів з температурою, більшою  $100^\circ\text{C}$ , призведе до втрати теплоти з випаром з деаератора, в кількості, що пропорційна різниці фактичної температури поверненого конденсату та  $100^\circ\text{C}$ .

Тому у даному випадку ентальпію поверненого конденсату потрібно обчислювати при  $100^\circ\text{C}$ , тобто

$$h_{\text{конд}}^{\text{пов}} = 100 \cdot 4,19 = 419 \text{ кДж/кг.}$$

Звідси одержуємо, що кількість теплоти, поверненої в ТЕЦ з конденсатом, дорівнює:

$$Q_{\text{конд}}^{\text{пов}} = G_{\text{конд}}^{\text{пов}} \cdot h_{\text{конд}}^{\text{пов}} = 471,1 \cdot 419 = 0,197 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{т}}.$$

Обчислюємо фактичну питому витрату теплової енергії на переробку цукрових буряків:

$$Q_{\text{техн}}^{\text{факт}} = Q_{\text{зав}}' - Q_{\text{конд}}^{\text{пов}} = 1,029 \cdot 10^6 - 0,197 \cdot 10^6 = 0,829 \cdot 10^6 \text{ кДж/тону буряків.}$$

Можливі розбіжності фактичного технологічного режиму від розрахункового, враховують введенням коефіцієнта 1,1 до фактичної питомої витрати, при обчисленні розрахункової витрати теплової енергії на технологічні потреби, тобто:

$$Q_{\text{техн}}^{\text{розр}} = 1.1 \cdot Q_{\text{техн}}^{\text{факт}} = 1,1 \cdot 0,829 \cdot 10^6 = 0,92 \cdot 10^6 \text{ кДж/тонну буряків.}$$

Отже маємо, що розрахункова питома витрата теплової енергії на технологічні потреби заводу дорівнюють  $0,92 \cdot 10^6$  кДж/тонну буряків.

Визначаємо фактичну питому витрату умовного,  $\Delta b_{\text{тепл}}^{\text{УП}}$ , та реального,  $\Delta b_{\text{тепл}}^{\text{реал}}$ , палива необхідну для виробництва теплової енергії для переробки цукрових буряків:

$$\Delta b_{\text{тепл}}^{\text{УП}} = \frac{Q_{\text{техн}}^{\text{розр}}}{(Q_{\text{H}}^{\text{P}})^{\text{УП}} \cdot \eta_{\text{п.г.}} \cdot \eta_{\text{т.р}}} = \frac{0,92 \cdot 10^6}{29300 \cdot 0,9 \cdot 0,98} = 35,6 \text{ кг/тонну бур.}$$

Питома витрата природного газу, що має  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 35000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , дорівнює:

$$\Delta b_{\text{тепл}}^{\text{пр.газу}} = 35,6 \cdot \frac{29300}{35000} = 29,8 \text{ кг/тонну бур.}$$

Обчислюємо кількість технологічної пари, яку цукровий завод повинен одержати від ТЕЦ:

$$D_{\text{техн}} = \frac{1,1}{24 \cdot 10^3} A \cdot (D_{\text{ВУ}} + D_{\text{інші}}) = \frac{1,1 \cdot 6000}{24 \cdot 10^3} \cdot 376,7 = 103,6 \text{ т/год.}$$

#### 4.7 Забезпечення цукрового заводу технологічною парою

Джерелами технологічної пари, що надходить в завод з ТЕЦ, є - парова турбіна, яка працює з протитиском (тиск пари після турбіни вищий атмосферного), та редуційно-охолоджувальна установка (РОУ).[4]

Турбогенератор, як складова частина парової турбіни, може працювати за тепловим чи електричним графіком.

Коли турбогенератора працює за електричним графіком, то після парової турбіни отримаємо технологічну пару у кількості

$D_{\text{турб}}^{\text{техн.}}$ , яка визначається за формулою:

$$D_{\text{турб}}^{\text{техн.}} = \frac{N_{\text{год}} \cdot 3600 \cdot (1 + \beta_{\text{ОУ}})}{(h_0 - h_{\text{прот}}) \cdot \eta_{\text{ем}} \cdot 10^3} \text{ т.}$$

В цій формулі:

$N_{\text{год}} = N_{\text{пит}} \cdot A_{\text{год}}$  – годинна витрата електричної енергії на переробку цукрових буряків, кВт·год/год,



З точки на осі ординат, яка відповідає одержаному значенню  $h_2 = h_{\text{прот}} = 2902$  кДж/кг, проводиться горизонталь до перетину з ізобарою  $p_{\text{прот}}$  в точці 2, що характеризує фактичний стан пари на виході з проточної частини турбіни.

Через те, що пара в т.2 є перегрітою, її охолодження до стану сухої насиченої пари, виконується в охолоджувальній установці (ОУ) турбіни живильною водою після живильних насосів (процес 2 – 3). Максимально можливий тиск цієї води потрібний для якомога тоншого її подрібнення (до стану “туману”), щоб за мінімальний час контакту перегрітої пари і подрібненої води, остання мала можливість догрітися від початкової температури  $t_{\text{ж.в.}}$  (біля  $104^{\circ}\text{C}$  для деаераторів атмосферного тиску) до температури насичення, що відповідає тиску в ОУ (практично, протитиску). Тільки після цього краплини подрібненої води закипають і утворюють додаткову кількість пари  $\beta_{\text{ОУ}}$  (а в РОУ –  $\beta_{\text{РОУ}}$ ).

Кількість додатково утвореної пари на 1 кг пари, що надходить після турбіни в ОУ, обчислюється з рівняння:

$$\beta_{\text{ОУ}} = \frac{h_{\text{прот}} - h''_{\text{прот}}}{(h''_{\text{прот}} - h_{\text{ж.в.}}) + 0,2 \cdot (h'_{\text{прот}} - h_{\text{ж.в.}})}, \text{ кг додатково утв. пари на 1 кг пари після турб.}$$

де:  $h''_{\text{прот}}$  – ентальпія пари після ОУ турбіни,  $h''_{\text{прот}} = f(p_{\text{прот}} = 3,86\text{бар}) = 2736,9$  кДж/кг;

$h'_{\text{прот}}$  ентальпія живильної води, догрітої до температури насичення при  $p_{\text{прот}}$ ,  $h'_{\text{прот}} = f(p_{\text{прот}} = 3,86\text{бар}) = 599,4$ кДж/кг;

$h_{\text{ж.в.}}$  - ентальпія живильної води на вході в ОУ і РОУ,  $h_{\text{ж.в.}} = 104 \cdot 4,19 = 435,76$  кДж/кг.

Тоді:

$$\beta_{\text{ОУ}} = \frac{2902 - 2736,9}{(2736,9 - 435,76) + 0,2 \cdot (599,4 - 435,76)} = \frac{165,1}{2301,14 + 0,2 \cdot 163,64}$$

Кількість додатково утвореної сухої насиченої пари на 1 кг пари, що надходить в РОУ після парових котлів, визначаємо з рівняння:

$$\beta_{\text{РОУ}} = \frac{h_0 - h''_{\text{прот}}}{(h''_{\text{прот}} - t_{\text{ж.в.}}) + 0,2(h'_{\text{прот}} - t_{\text{ж.в.}})} = \frac{3330 - 2736,9}{(2736,9 - 435,76) + 0,2(599,4 - 435,76)} = \frac{593,1}{2290,14 + 0,2 \cdot 163,64}$$

$$= 0,25 \frac{\text{кг додатково утв. пари}}{\text{на 1 кг пари після турб.}}$$

Підставивши всі визначені величини формулу  $D_{\text{турб}}^{\text{техн}}$  визначаємо:

$$D_{\text{турб}}^{\text{техн}} = \frac{7500 \cdot 3600 \cdot (1+0,07)}{(3330-2902) \cdot 0,96 \cdot 10^3} = 70,31 \text{ т/год.}$$

Кількість технологічної пари, яку потрібно одержати після РОУ:

$$D_{\text{техн}}^{\text{РОУ}} = D_{\text{техн}} - D_{\text{техн}}^{\text{турб}} = 103,6 - 70,31 = 33,29 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Визначаємо кількість пари, яка має надійти в парову турбіну,  $D_{\text{турб}}$ , і в РОУ,  $D_{\text{РОУ}}$ , після парових котлів :

$$D_{\text{турб}} = \frac{D_{\text{техн}}^{\text{техн}}}{1+\beta_{\text{oy}}} = \frac{70,31}{1+0,07} = 65,71 \text{ т/год.}$$

$$D_{\text{РОУ}} = \frac{D_{\text{техн}}^{\text{РОУ}}}{1+\beta_{\text{РОУ}}} = \frac{33,29}{1+0,25} = 26,6 \text{ т/год.}$$

Загальна продуктивність парових котлів ТЕЦ,  $D_{\text{ТЕЦ}}$ , дорівнює:

$$D_{\text{сум}} = D_{\text{турб}} + D_{\text{РОУ}} = 65,71 + 26,6 = 92,31 \text{ т/год.}$$

$$D_{\text{ТЕЦ}}^{\text{вл.п.}} = 0,04 \cdot D_{\text{сум}} = 0,04 \cdot 92,31 = 3,7 \text{ т/год}$$

$$D_{\text{ТЕЦ}} = D_{\text{сум}} + D_{\text{ТЕЦ}}^{\text{вл.п.}} = 92,31 + 3,7 = 96,01 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Коли турбіна працює за тепловим графіком, всю технологічну пару, необхідну для роботи заводу, одержують після ОУ парової турбіни, коли виключено редукційно-охолоджувальну установку.

При цьому електрична потужність турбогенератора дорівнюватиме:

$$N_{\text{ген}} = \frac{D_{\text{техн}} \cdot \eta_{\text{ем}} \cdot (h_0 - h_{\text{прот}}) \cdot 10^3}{3600 \cdot (1+\beta_{\text{РОУ}})} = \frac{103,6 \cdot 0,96 \cdot (3330-2902) \cdot 10^3}{3600 \cdot (1+0,07)} = 11050 \text{ кВт.}$$

Отримана величина  $N_{\text{ген}}$  перевищує, необхідну для роботи заводу, електричну потужність турбогенератора  $N_{\text{год}}$ , яка дорівнює  $N_{\text{год}} = 7500 \text{ кВт.}$

Обчислюємо кількість пари, що має надійти в парову турбіну,  $D_{\text{турб}}$ , після парових котлів :

$$D_{\text{турб}} = \frac{D_{\text{техн}}}{1+\beta_{\text{oy}}} = \frac{103,6}{1+0,07} = 96,8 \text{ т/год.}$$

Загальна продуктивність парових котлів ТЕЦ дорівнює:

$$D_{\text{ТЕЦ}}^{\text{вл.п.}} = 0,04 \cdot D_{\text{турб}},$$

$$D_{\text{ТЕЦ}} = D_{\text{турб}} + D_{\text{ТЕЦ}}^{\text{вл.п.}} = (1 + 0,04) \cdot D_{\text{турб}} = 1,04 \cdot 96,8 = 100 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Визначаємо фактичну питому витрату умовного,  $\Delta b_{\frac{e}{e}}^{y\Pi}$ , та реального,  $\Delta b_{\frac{e}{e}}^{реал}$ , палива на виробництво електричної енергії, потрібної для переробки цукрових буряків (питома витрата електроенергії  $N_{пит} = 30 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{тону буряків}$ ):

$$\Delta b_{\frac{e}{e}}^{y\Pi} = \frac{N_{пит} \cdot 3600}{(Q_H^p)^{y\Pi} \cdot \eta_{п.г.} \cdot \eta_{ем} \cdot \eta_{тр}} = \frac{30 \cdot 3600}{29300 \cdot 0,9 \cdot 0,96 \cdot 0,98} = 4,35 \text{ кг/тону бур.}$$

Питома витрата природного газу з  $Q_H^p = 35000 \text{ кДж/м}^3$  дорівнює:

$$\Delta b_{\frac{e}{e}}^{пр.газ} = \Delta b_{\frac{e}{e}}^{y\Pi} \cdot \frac{(Q_H^p)^{y\Pi}}{(Q_H^p)^{пр.газ}} = 4,35 \cdot \frac{29300}{35000} = 3,64 \text{ м}^3 / \text{тону бур.}$$

Сумарна питома витрата умовного і реального (природний газ) палива на виробництво теплової і електричної енергії:

$$b_{\frac{e}{e}}^{y\Pi} = \Delta b_{\frac{e}{e}}^{y\Pi} + \Delta b_{\frac{e}{e}}^{тепл} = 4,35 + 35,6 = 39,95 \text{ кг/тону бур.}$$

$$b_{\frac{e}{e}}^{пр.газ} = \Delta b_{\frac{e}{e}}^{пр.газ} + \Delta b_{\frac{e}{e}}^{тепл} = 3,64 + 29,8 = 33,44 \text{ м}^3 / \text{тону бур.}$$

## **Охорона праці**

### **Законодавча база з охорони праці в Україні.**

В Україні – у першій країні серед СНД – 14 жовтня 1992 р. був прийнятий Верховною Радою Закон "Про охорону праці" (з 21 листопада 2002 р. закон діє в новій редакції). Прийнятий закон, а також "Кодекс законів про працю України" є основною законодавчою базою охорони праці. Їх доповнюють державні міжгалузеві та галузеві нормативні акти про охорону праці – це стандарти, правила, норми, положення, статuti, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання усіма установами і працівниками України.

### **Загальні вимоги безпечної експлуатації виробничого устаткування цукрового заводу**

1. Технологічне обладнання повинно відповідати експлуатаційній документації заводу-виробника.
2. Для обслуговування великогабаритного устаткування та його частин, що потребують огляду, ремонту та налагодження, застосовуються стаціонарні майданчики з огороженням і сходами[9].
3. Всі обертаючі та рухомі частини устаткування, незалежно від швидкості їх руху, закриваються суцільним або сітчастим огороженням.
4. Всі поверхні устаткування, що виділяють тепло і працюють при температурі зовнішньої поверхні стінки вище 43 °С - теплоізолювані. Ізоляція стійка до вологи, механічних пошкоджень і вогнетривка.
5. Управління машинами і апаратами здійснюється з пультів управління. На органах управління зображені чіткі написи або умовні знаки про їх призначення.
6. Конструкція органів управління устаткування виключає іскровиникнення в рухомих частинах.
7. Біля машин, які включаються дистанційно або автоматично, розміщують написи «Обережно, включається автоматично» (дистанційно)».
8. Пристрої для пуску і зупинки устаткування розташовують так, щоб працівнику було зручно користуватися ними з робочого місця[9].
9. Всі відкриті струмопровідні частини електроприладів, електронагрівальних пристроїв, а також проводи у місцях їх з'єднання огорожують. Огороження виключає можливість дотику до частин, які знаходяться під напругою.
10. Устаткування, яке пов'язане з виділенням шкідливих, токсичних та отруйних речовин, встановлюється в окремих приміщеннях, які обладнані витяжною вентиляцією.

11. Для контролю рівня рідини в посудинах встановлюють звукові, світлові та інші сигналізатори рівня, які передбачені конструкцією заводу-виробника.

12. Забороняється [9]:

- пуск і короткочасна робота механізмів при відсутності або несправному стані огорожуючих пристроїв;
- прибирання поблизу механізмів без захистних огорожень;
- очищення, обтирання і змащення частин робочих механізмів, що обертаються, під час їх дії;
- перелізати через огороження або просовувати руки за них для змащення і прибирання робочих механізмів;
- зупиняти вручну обертаючі і рухомі механізми;
- наступати на обладнання, дроти, які звисають або лежать на землі та підлозі, а також на обриви дроту, мотузки, тросу, які торкаються цих проводів;
- експлуатувати несправне устаткування, а також устаткування з непрацюючими або відключеними пристроями захисту (блокування, запобіжні клапани);
- ремонтувати обладнання без виконання технічних заходів, що унеможливають його помилкове включення в роботу, самовільне переміщення або рух. Після закінчення очистки або ремонту устаткування необхідно впевнитись у тому, що в ньому не залишилось людей і будь-яких сторонніх предметів;
- застосовувати для миття та обезжирювання деталей і устаткування гас, бензин, бензол, ацетон та інші горючі і легкозаймисті речовини, а також трихлоретилен, дихлоретилен та інші хлорподібні вуглеводні.

13. Місця розташування пускових пристроїв (крім пристроїв дистанційного управління) електродвигунів напругою вище 1000 В оснащують діелектричними килимками, а у вологих приміщеннях - ізолюючими підставками.

14. При підготовці устаткування до монтажних, демонтажних і ремонтних робіт необхідно:

- ознайомити працівників з порядком проведення робіт і засобами безпеки;
- закрити доступ до устаткування, що ремонтується. Встановити попереджувальні знаки та плакати;
- припинити ведення технологічного процесу;
- звільнити апарати, збірники та інші резервуари від рідин чи продуктів виробництва, промити їх;
- провентилювати устаткування та приміщення;

- перевірити кріплення фундаментних болтів, стан ізоляції електричної мережі та заземлення, наявність та справність огорожень, пускових, гальмівних, блокуючих пристроїв, запобіжних і контрольно-вимірювальних приладів;

- впевнитись у відсутності в середині устаткування людей і сторонніх предметів.

15. Працююче устаткування з рухомими частинами перед оглядом, ремонтом та очищенням, знеструмлюють та знімають ззапобіжники. Забороняється доступ сторонніх осіб в зону ремонту.

16. Під час ремонтних робіт, пов'язаних з монтажем, демонтажем устаткування та трубопроводів, а також заміною елементів устаткування, дотримуються послідовності операцій, передбаченої проектом виробництва робіт або технологічною картою[9].

17. Під час ремонтних робіт на ділянках з температурою повітря понад 35 °С передбачаються пересувні повітряні вентиляційні установки[9].

### **Вимоги для безпечної експлуатації дифузійних установок**

1. Кільцевий скребковий конвеєр для виведення жому із дифузійного апарата колонного типу огорожується металевою сіткою[9].

2. Оглядові вікна на майданчику вивантажувального пристрою дифузійних апаратів нахилоного типу повинні бути огорожені.

3. Для аварійних робіт у середині апарата, корпус нижньої частини обладнують люками з завісами, які повинні мати спеціальні ручки.

4. Ошпарювачі ротаційних дифузійних апаратів огорожують металевою сіткою над підлогою.

5. В огороженнях приводу дифузійних апаратів нахилоного типу передбачають люки для огляду ланцюгів.

6. Посудини і мірники для подавання формаліну розміщуються в окремому приміщенні. Роботи із використанням хімічних речовин виконуються із застосуванням відповідного спеціального взуття, спеціального одягу та інших ЗІЗ з урахуванням вимог безпеки під час роботи з хімічними речовинами[9].

7. Дифузійні апарати укомплектовують щитами електроустаткування та автоматизації, також контрольно-вимірювальними приладами та пристроями для сигналізації.

8. На люках дифузійних апаратів монтують металеві решітки, з надійним закріпленням.

9. Крани для відбору проб укомплектовують механізмами для їх плавного відкриття.

### **Вимоги безпечної експлуатації підігрівників**

1. Кожухотрубні підігрівники обладнуються пристроєм для легкого відкривання і закривання кришок та спускними кранами з кожного ходу соку[9].

2. Очищення підігрівників проводять хімічним або механічним способом.

3. Перед механічним очищенням підігрівник відключають від усіх трубопроводів.

Під час очищення підігрівника знаходитись під ним забороняється.

4. Для очищення труб, поверхні нагрівання підігрівника обладнують стаціонарними або пересувними майданчиками з драбинами, а також лійкою з гнучким шлангом для зливання залишків рідини з підігрівника[9].

5. Для спуску конденсату під час експлуатації та зупинки підігрівників, встановлюють крани.

### **Вимоги безпечної експлуатації вакуум-апаратів**

1. Вакуум-апарати укомплектовують: вакуумметрами, термометрами і манометрами, надійною ізоляцією.

2. Циліндрична частина вакуум-апарата від верхньої кромки парової камери до верхньої лінії уварювання утфелю має оглядові вікна із термостійкого скла, які розташовані, щоб забезпечувати контроль рівня на всій висоті апарата.

Оглядові вікна вакуум-апаратів мають захисні пристрої. Пристрої для підсвічування скла вироблені з вибухобезпечних матеріалів[9].

У конструкцію апарата входять спеціальні світильники, які забезпечують належну освітленість місць для відбирання проб і оглядових вікон.

3. Для уловлювання перекидання утфелю із вакуум-апаратів використовують уловлювачі виносного типу з гідравлічним затвором, які монтують перед конденсаторами.

4. Спускні і повітряні шибери вакуум-апаратів мають приводи з дистанційним управлінням.

Повітряні шибери вакуум-апаратів для створення попереднього розрідження мають байпас з дистанційно керованим вентилем[9].

5. Вентилі для відбирання проб утфелю із вакуум-апаратів мають обмеження для піднімання пробок або вакуумну блокування.

Кран розміщується на висоті не більше 0,7 м від рівня підлоги (майданчику).

### **Утримання, експлуатація та обслуговування електроустановок та електричних мереж**

1. На підприємстві необхідно реалізувати технічні та організаційні заходи, що забезпечують захист працівників від дії електричного струму.

2. Утримання, експлуатацію та обслуговування електроустановок та електричних мереж необхідно здійснювати з дотриманням вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених [наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09 січня 1998 року N 4](#), зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10 лютого 1998 року за N 93/2533, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених [наказом Міністерства палива та енергетики України від 25 липня 2006 року N 258](#), зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 25 жовтня 2006 року за N 1143/13017, Державних санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів, затверджених [наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18 грудня 2002 року N 476](#), зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 13 березня 2003 року за N 203/7524, Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів, затверджених [наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 05 лютого 2014 року N 99](#), зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 25 лютого 2014 року за N 335/25112, Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених [наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30 грудня 2014 року N 1417](#), зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 року за N 252/26697[10].

3. Електроінструмент, що застосовується на виробництві, та його використання повинні відповідати вимогам Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями, затверджених [наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19 грудня 2013 року N 966](#), зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 25 лютого 2014 року за N 327/25104.

4. Електроприлади й електрообладнання, установлені на устаткуванні (машинах, механізмах, тощо) та ізольовані від його станини, повинні мати самостійне занулення, заземлення. У разі порушення або несправності заземлення електричні установки слід негайно вимкнути і вжити заходів щодо відновлення заземлення.

5. Обладнання, під час роботи якого можливе утворення статичної електрики, повинно мати пристрої, які унеможливають її накопичення. Для зниження впливу статичної електрики необхідно використовувати відповідні засоби колективного та індивідуального захисту.

6. Очищення електрообладнання від пилу необхідно проводити за затвердженим графіком, але не рідше одного разу на місяць, а в запиленних приміщеннях - щотижня відповідно до вимог [НПАОП 40.1-1.21.98](#) та [НАПБ А.01.001-2004](#). [10]

7. Посудини, що працюють під тиском, повинні експлуатуватися відповідно до Правил безпеки і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (НПАОП 0.00-1.59-87), затверджених Державним комітетом з нагляду за безпечним веденням робіт у промисловості і гірничому нагляду при Раді Міністрів СРСР від 27 листопада 1987 року, та Технічного регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском, затвердженого [постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2011 року N 35](#).

8. Поверхні, які нагріваються під час проведення технологічних процесів, необхідно теплоізулювати і забезпечити підтримання температури поверхні не більше 43° С згідно з ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 Ергономіка теплового середовища. Температури гарячих поверхонь, доступних для дотику. Посібник з визначення граничних значень температур поверхонь в стандартах на продукцію з використання EN 5637. [10]

9. У всіх вибухопожежонебезпечних приміщеннях не дозволяється проведення ремонтних робіт при вимкнених припливно-витяжних вентиляційних системах.

10. Для унеможливлення вибухів, пожеж та зниження рівня запиленості приміщень та обладнання необхідно здійснювати прибирання та очистку від пилу приміщень, обладнання, інженерних мереж та будівельних конструкцій відповідно до затвердженого графіка. Прибирання має бути організоване таким чином, щоб під час його проведення пил не підіймався у повітря. [10]

11. Збірники пилу повинні переважно розміщуватися на вулиці. У разі неможливості вибухорозрядні пристрої мають бути виведені (спрямовані) за межі будівлі.

12. Для гарантування безпечної роботи працівників слід встановити графіки профілактичних оглядів та об'ємів обслуговування пристроїв та обладнання, для яких відсутні строки технічного обслуговування (фіксатори, завіси, перила, трапи, ворота тощо).

13. Небезпечні місця та зони проведення робіт необхідно позначати попереджувальними знаками відповідно до Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затвердженого [постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 року N 1262](#).

14. Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів, розширення, реконструкцію, технічне переозброєння, реставрацію, капітальний ремонт об'єктів - будівель, споруд, приміщень підприємств, їх окремих пускових черг необхідно здійснювати відповідно до [постанови Кабінету Міністрів України від 13 квітня 2011 року N 461](#). [10]

## ВИСНОВОК

В даній кваліфікаційній магістерській роботі було досліджено використання пароструминного компресора, як елемента теплової схеми випарної установки, який забезпечує максимальну ефективність ліквідації відбору вторинної пари з 3-го корпусу на вакуум-апарати I-го продукту.

Було проведено розрахункове дослідження 3-х варіантів використання ПК, а саме:

- використання пароструминного компресора для стиснення вторинної пари 5-го корпусу ВУ до тиску вторинної пари 1-го корпусу;
- використання пароструминного компресора для стиснення вторинної пари 5-го корпусу ВУ до тиску вторинної пари 2-го корпусу;
- використання пароструминного компресора для стиснення вторинної пари 5-го корпусу ВУ до тиску вторинної пари 3-го корпусу;

Наведено методику визначення коефіцієнта інжекції, як основного показника роботи пароструминного компресора, для різних значень тиску інжектованої пари.

Виконано розрахунок системи теплоенергоспоживання цукрового заводу із застосуванням ПК.

## **Список використаної літератури**

1. *Тобілевич Н.Ю., Гаряжа В.Т., Прядко М.О. Теплове господарство цукрових заводів. – К., КТІХП, 1973. – 209 с.*
2. *В.Т.Гаряжа и другие. Интенсификация процесса уваривания утфелей. Легкая и пищевая промышленность.-М.,1981.-152с.*
3. *М.О.Прядко,М.ОМасліков,В.П.Петренко, В.І.Павелко,В.М.Філоненко. Основи теплотехнології цукрового виробництва.Вінниця,ПП «Нова книга»,2007р-295 с.*
4. *В.Д.Попов. Основы теории тепло-и массообмена при кристаллизации сахарозы.-М.,Пищевая промышленность,1973.-320 с.*
5. *В.П.Петренко, М.О. Прядко,О.М. Рябчук. Ефективність застосування плівкових випарних апаратів та розрахунок інтенсивності тепловіддачі до киплячих цукрових розчинів в них / Цукор України. – 2013. – № 6(90). – С. 21-25.*
6. *М.О.Прядко,С.М.Василенко,В.П.Петренко. Ефективність використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) в теплових схемах цукрових заводів. Цукор України. – 2014. №8(104).-с. 23.*
7. *Всесоюзный Центральный Научно-Исследовательский институт сахарной промышленности. Инструкция по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации Парокомпрессорных установок, 1956р-с. 3-58.*
8. *М.Л. Вайсан. Исследование в Области использования пароструйных компрессоров в сахарной промышленности 1954р с.2*
9. *Міністерство соціальної політики України (Мінсоцполітики України). Наказ 05.10.2018 № 1467 Про затвердження Правил охорони праці для працівників, зайнятих на цукровому виробництві 2018р*
10. *Міністерство соціальної політики України (Мінсоцполітики України) Наказ 18.04.2017 №635 Про затвердження Правил охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв*

