

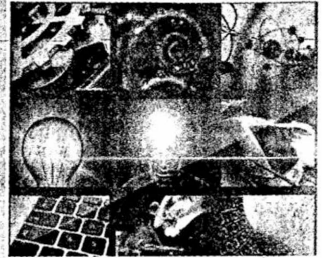
ISSN 2226-3780

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ И РЕЗЕРВЫ ПРОИЗВОДСТВА



№5/4 (25),  
2015

Основной целью журнала «Технологический аудит и резервы производства» является публикация результатов исследований, позволяющих находить резервы ресурсосбережения, энергосбережения, повышения экологической безопасности, повышения качества и конкурентоспособности продукции в промышленности.



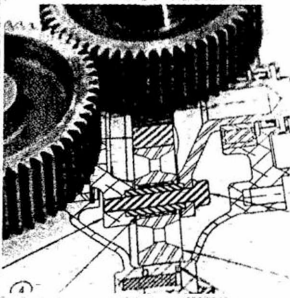
Основним цілями журналу «Технологічний аудит та резерви виробництва» є публікація результатів досліджень, що дозволяють знаходити резерви ресурсозбереження, енергозбереження, підвищення екологічної безпеки, підвищення якості та конкурентоспроможності продукції в промисловості.

The purpose of the journal «Technology audit and production reserves»: the publication of research results to find reserves of resource saving, energy efficiency, improving environmental protection, improve the quality and competitiveness of products in the industry.

## РУБРИКИ ЖУРНАЛА / РУБРИКИ ЖУРНАЛУ / JOURNAL COLUMNS

### **Технические науки**

Машиноведение и машиностроение, Информационные технологии, Математическое моделирование, Системы и процессы управления, Энергетика, энергосберегающие технологии и оборудование, Электротехника и промышленная электроника, Информационно-управляющие системы, Технологии пищевой, легкой и химической промышленности



### **Технічні науки**

Машинознавство та машинобудування, Інформаційні технології, Математичне моделювання, Системи та процеси керування, Енергетика, енергозберігаючі технології та обладнання, Електротехніка та промислова електроніка, Інформаційно-керуючі системи, Технології харчової, легкої та хімічної промисловості

### **Technical sciences**

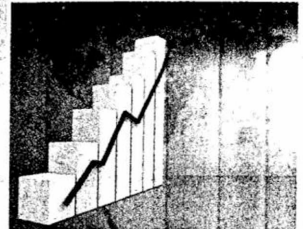
Mechanical engineering and machine building, Information technologies, Mathematical modeling, Systems and control processes, Energy, energy-saving technologies and equipment, Electrical engineering and industrial electronics, Information and control systems, Technologies of food, light and chemical industry

### **Экономические науки**

Экономика и управление предприятием, Развитие производительных сил и региональная экономика, Экономическая кибернетика, Вопросы макроэкономики и социально-экономического развития

### **Економічні науки**

Економіка та управління підприємством, Розвиток продуктивних сил і регіональна економіка, Економічна кібернетика, Питання макроекономіки та соціально-економічного розвитку



### **Economic sciences**

Economics and enterprise management, Development of productive forces and regional economy, Economic cybernetics, Problems of macroeconomics and socio-economic development





Шиян П. Л.,  
Мудрак Т. О.,  
Боярчук Я. А.

## СИНТЕЗ ЛЕТКИХ ОРГАНИЧНЫХ ДОМІШОК СПИРТУ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ

*В роботі проведено дослідження впливу виду сировини, концентрації суслу, температури зброджування, кількості та кратності використання фільтрату барди на стадії приготування замісу на синтез летких органічних домішок спирту. Встановлено, що всі зазначені технологічні параметри по-різному впливають на їх синтез.*

**Ключові слова:** заміс, сировина, температура, бродіння, фільтрат барди, синтез органічних домішок, рециркуляція.

### 1. Вступ

Входження України до загальноєвропейського ринку вимагає від підприємств спиртової галузі інтенсифікувати процес виробництва, щоб витримати конкуренцію з боку зарубіжних виробників.

В умовах, коли пропозиція перевищує попит, особливу увагу приділяють якості спирту. У перспективі спиртова галузь повинна забезпечити можливість моделювання якості спирту під умови замовника. Ті підприємства, які перехідний період зможуть модернізувати виробництво під євростандарти, здатні не лише вижити, а й розбудуватися, завойовуючи зовнішні ринки.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що для інтенсифікації процесу ректифікації з метою зменшення питомого енерговитрат як при отриманні етилового спирту високої якості, так і при виробництві біоетанолу необхідні достовірні відомості про якісний і кількісний склад летких органічних домішок спиртової бражки, оскільки це дозволить встановити оптимальні параметри роботи брагоректифікаційної установки та установок для отримання біоетанолу.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Одним із способів підвищення рентабельності та екологізації спиртового виробництва є зброджування висококонцентрованого зернового суслу із заміною технологічної води фільтратом барди.

Значна роль при виробництві етилового спирту відводиться сировині. Причому до сировини, яка переробляється при низькотемпературній термоферментативній обробці — високі вимоги. Переробка сировини з регламентованими показниками служить показником успішного проведення технологічного процесу і отримання кінцевого продукту з заданими фізико-хімічними і органолептичними властивостями [1–4].

В зв'язку з цим для удосконалення технологічних процесів в спиртовій промисловості можна віднести дослідження впливу перероблюваної сировини на біохімічні процеси при збродженні спиртового суслу і фракційний склад летких домішок спирту, які обумовлюють його якісні показники. Причому вивчення особливостей синтезу летких домішок, які утворюються в процесі бро-

діння і важко видаляються при ректифікації займають першочергове значення при створенні нових технологій отримання високоякісного етилового спирту [5].

Біосинтез вторинних і побічних продуктів в процесі зброджування пов'язаний із регуляторними функціями дріжджових клітин, але їх утворення в значній мірі залежить від хімічного складу сировини, концентрації суслу, температури бродіння, кількості внесення фільтрату барди та кратності його використання [6].

При виробництві етанолу необхідно достовірні відомості про якісний і кількісний склад летких домішок спирту для оптимізації процесу ректифікації [7, 8].

### 3. Об'єкт, ціль і завдання досліджень

*Об'єкт дослідження* — технологія спиртової бражки при низькотемпературній ферментативній обробці різних видів крохмалевмісної сировини з використанням фільтрату барди.

*Метою даної роботи* є удосконалення технології етилового спирту із зернової сировини, шляхом дослідження синтезу летких органічних домішок спирту в бражних дистилатах, залежно від технологічних параметрів приготування замісу, термоферментативної обробки та зброджування.

У відповідності до поставленої мети були визначені наступні завдання:

- вивчити вплив виду сировини та концентрації сухих речовин суслу на синтез летких домішок бражки;
- визначити вплив температури зброджування на синтез вторинних і побічних продуктів в бражках;
- дослідити вплив кількості й кратності використання фільтрату барди на стадії приготування замісу на синтез летких органічних домішок бражки.

### 4. Матеріали та методи досліджень синтезу летких органічних домішок спирту у спиртовому виробництві

На I стадії досліджень використовували сусло із житою концентрацією сухих речовин (СР) 20,0, 21,8, 22,2 і 23,2 % із пшениці — 20,0, 23,5, 25,2, і 26,4 % СР та із кукурудзи — 18,0, 20,0, 26,0 та 30,0 % СР. Дисперсність помелів сировини складала 100 % прохід через сито з діаметром отворів 1 мм.

На II етапі досліджень проводили зброджування суслу із кукурудзи концентрацією 20 та 26 % сухих речовин при 30, 35 і 38 °С.

Розріджування та оцукрювання замісів проводили концентрованими ферментними препаратами Teganul HS 77 L та Teganul GA 400 L при температурі термоферментативної обробки 85–90 °С, оцукрювання проводили в бродильному апараті. Сусло зброджували дріжджками *S. cerevisiae* ДО-11 при температурі 32–38 °С.

На III етапі досліджень проводили заміну технологічної води фільтратом барди залежно від концентрації замісу. Так при 18 % СР використовували 80 %, 20 % СР – 70 % та 22 % СР – 60 % фільтрату барди, що складає повне його використання. Для інтенсифікації процесу зброджування суслу при багаторазовому використанні фільтрату барди використовували заміс із концентрацією 22 % СР.

Кількісний та якісний склад летких органічних домішок визначали на газохроматографі «Кристал-2000М».

## 5. Результати досліджень синтезу летких органічних домішок спирту та їх обговорення

**5.1. Синтез летких органічних домішок спирту залежно від сухих речовин суслу та виду сировини.** Якість спирту в основному визначається вибором крохмалевмісної сировини і технологічних параметрів на всіх стадіях виробництва.

Концентрація суслу та хімічний склад сировини є одним із найбільш важливих факторів, що впливають на фізіологічні властивості дріжджів. Тому в роботі проведені дослідження впливу концентрації суслу та виду сировини на синтез етилового спирту і побічних продуктів бродиння.

В табл. 1–3 наведено склад органічних домішок бражних дистилатів з різних видів крохмалевмісної сировини залежно від концентрації суслу.

З наведених даних видно, що склад леткої частини бражних дистилатів коливається в широкому діапазоні. Загальний аналіз даних різних видів сировини проведено по концентрації суслу 20 % СР.

Таблиця 1

Синтез летких органічних домішок спирту у зрілих бражах в залежності від початкової концентрації сухих речовин у кукурудзяному суслі

№ п. п.	Компоненти бражних дистилатів, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрація СР, %			
		18	20	26	30
1	Ацетальдегід	15,81	15,88	15,09	14,91
2	Метилацетат	0,35	0,22	0,19	0,19
3	Етилацетат	5,26	5,03	2,24	1,68
4	Сума складних ефірів	5,59	5,04	2,44	1,11
5	n-бутанол	1,35	1,37	1,35	1,92
6	n-пропанол	57,16	49,30	49,35	85,00
7	Ізобутиловий спирт	185,00	176,06	99,75	50,41
8	Ізоаміловий спирт	202,38	165,96	174,98	91,68
9	Сума сивушних спиртів	448,69	449,02	391,02	324,01
10	Метиловий спирт, об. %	0,0002	0,0007	0,0002	0,0002
11	Органічні кислоти	8,48	5,03	4,97	4,95
12	Етиловий спирт, об. %	9,31	10,65	13,49	14,90
13	Σ домішок	475,79	418,85	347,92	250,74

Таблиця 2

Синтез летких органічних домішок спирту у зрілих бражах в залежності від початкової концентрації сухих речовин у пшеничному суслі

№ п. п.	Компоненти бражних дистилатів, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрація СР, %			
		20	23,5	25,2	26,4
1	Ацетальдегід	26,90	26,03	25,05	25,00
2	Метилацетат	5,05	1,02	0,89	0,80
3	Етилацетат	11,13	7,65	5,50	5,05
4	Сума складних ефірів	11,76	8,65	6,39	5,95
5	n-бутанол	1,99	2,38	2,95	4,95
6	n-пропанол	149,03	150,21	122,35	150,96
7	Ізобутиловий спирт	202,00	200,82	140,87	130,70
8	Ізоаміловий спирт	696,73	879,58	550,95	522,15
9	Сума сивушних спиртів	1050,18	950,49	820,13	803,55
10	Метиловий спирт, об. %	0,0002	0,0001	0,0006	0,010
11	Органічні кислоти	18,55	12,90	12,40	14,93
12	Етиловий спирт, об. %	10,12	11,98	12,95	14,10
13	Σ домішок	1111,38	1280,59	860,96	854,55

Таблиця 3

Синтез летких органічних домішок спирту у зрілих бражах в залежності від початкової концентрації сухих речовин у житяному суслі

№ п. п.	Компоненти бражних дистилатів, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрація СР, %			
		20	21,8	22,2	23,2
1	Ацетальдегід	22,52	23,07	50,516	50,47
2	Метилацетат	7,83	1,29	1,51	4,92
3	Етилацетат	49,58	50,55	49,91	20,49
4	Сума складних ефірів	12,55	9,92	7,70	6,57
5	n-бутанол	2,49	3,09	5,10	4,98
6	n-пропанол	187,35	156,86	149,61	150,61
7	Ізобутиловий спирт	190,73	122,67	145,01	94,91
8	Ізоаміловий спирт	719,48	654,90	494,90	445,77
9	Сума сивушних спиртів	1110,41	976,47	851,72	698,71
10	Метиловий спирт, об. %	0,0013	0,0009	0,0007	0,0005
11	Органічні кислоти	29,89	29,57	28,05	26,22
12	Етиловий спирт, об. %	9,85	11,56	12,5	13,10
13	Σ домішок	1189,87	1042,00	874,10	777,88

З підвищенням концентрації СР суслу з кукурудзи та пшениці відбувається зменшення концентрації ацетальдегіду на 6–7 %, а в житі зростає майже вдвічі, що може бути зумовлено хімічним складом сировини.

Концентрація естерів знижується незалежно від виду сировини. Найменша кількість цього компоненту – при використанні кукурудзяного суслу з вмістом СР = 30 %, і складає 1,108 мг/дм<sup>3</sup>.

Отримані експериментальні дані свідчать, що найбільша концентрація метилового спирту є в бражному дистилаті із жита і складає 0,0013 % об. В зразку із кукурудзи його концентрація була майже в 2 рази нижча, ніж в бражному дистилаті з жита та в 3,5 рази вища від зразка із пшениці.

Сума сивушних спиртів зменшується на 50 %, 14 %, і 59 % у бражних дистилатах з кукурудзи, пшениці та жита відповідно. Це може бути пов'язано з тим, що

утворення органічних домішок є результатом життєдіяльності дріжджових клітин, які по-різному засвоюють вуглеводомісні сполуки в залежності від будови їх молекул, ступеня окиснення та розчинності.

Необхідно відмітити, що з підвищенням концентрації суцукру кількість *n*-бутанолу в бражних дистилатах зростає в 1,1–1,9 разів залежно від виду сировини. Частково це можна пояснити тим, що з підвищенням концентрації сухих речовин в суцукру, кількість дріжджових клітин зростає на 10–20 %.

Результати дослідження свідчать, що з підвищенням концентрації сухих речовин суцукру, незалежно від виду сировини, загальна кількість летких домішок в бражних дистилатах знижується. Найнижчу концентрацію летких домішок бражки має суцукру з кукурудзи.

Тому збільшення початкової концентрації сухих речовин суцукру є ефективним технологічним заходом, це дозволяє не тільки знизити кількість домішок спирту, а і зменшити енерговитрати на одиницю продукції, підвищити потужність бродинного відділення і знизити витрати на утилізацію післяспиртової барди.

**5.2. Вплив температури бродиння на синтез летких органічних домішок спирту.** Швидкість ферментативних і хімічних реакцій збільшується при підвищенні температури. Основною перешкодою під час проведення бродиння при високих температурах в промислових умовах є стороння мікрофлора. Крім того при понижених чи підвищених температурах зброджування слід очікувати, виходячи із загального уявлення про утворення продуктів обміну речовин дріжджів, зміни біохімічного складу субстрату [9].

Склад летких домішок бражних дистилатів значно змінюється в залежності від температури бродиння та концентрації сухих речовин суцукру (табл. 4). Утворення альдегідів пов'язано із ростом дріжджів [10]. Зокрема підвищення температури бродиння викликає значне збільшення концентрації ацетальдегідів в дозрілих бражках.

Приведені дані (табл. 4) показують, що найменша кількість ацетальдегіду в бражках синтезується при температурі 30 °C та концентрації сухих речовин 20 %. Із зростанням температури до 38 °C його кількість збільшується на 12,6 %, а з підвищенням концентрації до 26 % сухих речовин – на 14,4 %.

Вплив температури бродиння на синтез ацетальдегіду пов'язано з тим, що при її підвищенні зростає бродинна активність дріжджів, що сприяє інтенсивному синтезу пірвіноградної кислоти і в подальшому призводить до збільшення концентрації ацетальдегіду. Складні естери синтезуються у спирті в основному при ферментативних процесах життєдіяльності дріжджів.

Необхідно відмітити, що при підвищенні температури зброджування з 30 до 35 °C синтез етилацетату в бражці практично не змінювався. Із зростанням температури зброджування з 35 до 38 °C концентрація цього компонента знижувалася в 1,4–1,5 разів. Це може бути викликано тим, що при оптимальній інтенсивності бродиння (35–36 °C) термотолерантні дріжджі в меншій кількості синтезують етилацетат. Синтез ізоамілацетату та метилацетату при збільшенні температури бродиння з 30 до 38 °C зменшується в 1,2–1,4 рази відповідно.

Біосинтез ізобутилацетата та етилбутирата не залежить від зміни температури бродиння та концентрації суцукру.

Загальна кількість естерів при підвищенні температури бродиння до 38 °C та концентрації суцукру 26 %

сухих речовин знижується на 24–25 % відповідно. Вміст метанолу в бражках з підвищенням температури з 30 до 35–38 °C знижується в 1,3 рази.

Таблиця 4

Концентрація летких домішок в бражному дистилаті в залежності від температури бродиння при різних концентраціях сухих речовин суцукру

Назва компоненту	Умови досліджу					
	Концентрація сухих речовин 20 %			Концентрація сухих речовин 26 %		
	30 °C	35 °C	38 °C	30 °C	35 °C	38 °C
Ацетальдегід	15,58	16,52	17,55	24,98	15,58	16,52
Метилацетат	5,00	5,07	5,02	1,87	5,00	5,07
Етилацетат	5,76	5,75	4,93	8,40	5,76	5,75
Ізобутилацетат	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
Етилбутират	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Ізоамілацетат	2,70	2,45	2,21	1,96	2,70	2,45
Сума естерів	14,96	13,05	11,37	15,05	14,96	13,05
Метанол, *10 <sup>-2</sup>	0,0025	0,0021	0,0019	0,0025	0,0021	0,0019
Ізопропанол	184,82	204,07	287,99	131,27	176,75	246,45
<i>n</i> -пропанол	14,93	9,08	4,92	5,43	1,64	1,08
Ізобутанол	138,33	138,34	138,76	138,33	138,35	138,33
<i>n</i> -бутанол	1,67	0,66	0,46	0,99	0,64	0,42
Ізопентанол	149,65	150,61	202,31	254,11	261,23	494,98
<i>n</i> -пентанол	5,00	4,03	2,93	5,45	4,05	3,93
Сума вищих спиртів	493,49	588,23	793,57	595,80	650,74	711,92

Зменшення концентрації метанолу при збільшенні температури зброджування може бути пов'язане з активізацією ферменту пектинметилестерази та безпосередньо деструкцією молекул декстринів до моносахаридів, які не беруть участі в утворенні метанолу.

При аналізі вищих спиртів встановлено (табл. 4), що синтез *n*-пропанолу, *n*-пентанолу, *n*-бутанолу з підвищенням температури зброджування до 35–38 °C зменшується в 3,05–5,0; 1,71–1,39 та 3,65–2,38 рази відповідно.

Загальна кількість вищих спиртів з підвищенням температури до 35–38 °C та сухих речовин суцукру з 20–26 % зростає в середньому в 1,6–1,2 рази.

Згідно експериментальних даних встановлено, що синтез вищих спиртів в спиртових бражках залежить не тільки від утворення біомаси дріжджів за рахунок дезамінування амінокислот, а також від концентрації сухих речовин суцукру та температури зброджування.

Таким чином, на основі проведених досліджень встановлено, що процеси синтезу етилового спирту і його летких домішок в значній мірі залежить від виду зернової культури, концентрації СР суцукру та температури зброджування, що необхідно враховувати для визначення оптимальних технологічних режимів брагоректифікації при отриманні етилового спирту.

**5.3. Вплив кількості та кратності використання фільтрату барди на синтез летких органічних домішок спирту.** Наступним етапом роботи було дослідити вплив використання фільтрату барди на синтез летких органічних домішок. Вихід фільтрату барди залежить від концентрації сухих речовин замісу. Так при концентрації сухих речовин замісу 18–22 % СР можлива кількість заміни води фільтратом барди складає 80–60 %.

Приготування замісу до зброджування проводили за наступною схемою: кислотостійка  $\alpha$ -амілаза — Amylex A3 — 0,5 АЗ/г крохмалю при експозиції 30 хв та температурі 55...57 °С на стадії приготування замісу та протеолітичний ферментний препарат Alphasal AFP із розрахунку 0,05 ІІЗ/г сировини. З подальшим підвищенням температури до 65...70 °С при експозиції 120 хв та остаточним розділенням при температурі 90 °С протягом 60 хв в присутності термостабільної  $\alpha$ -амілази Tegamy І HS 77 І. Заміс охолоджували до 32 °С, додавали ферментний препарат Tegamy GA 400 І із розрахунку 6 од. ІІА/г крохмалю і зброджували протягом 72 год.

На основі експериментальних даних встановлено (табл. 5), що концентрація ацетальдегіду при використанні фільтрату барди на стадії приготування замісу знижується у всіх випадках в порівнянні із контролем в 4,15; 1,22 та в 3 рази відповідно до концентрації СР суцеля та кількості фільтрату барди.

Синтез етилацетату в усіх випадках зменшується, та найбільше це відбувається при концентрації СР = 18 % і складає 9,7 мг/дм<sup>3</sup>. При збільшенні концентрації СР в суслі прослідковується тенденція підвищення концентрації цього компонента.

Загальна кількість естерів коливається залежно від параметрів:

- при концентрації СР = 18 % і використанні 80 % ФБ знижується на 21 %;
- при концентрації СР = 20 % і використанні 70 % ФБ зменшується на 3,4 %;
- при концентрації СР = 22 % і використанні 60 % ФБ зростає на 4,6 %.

Сума вищих спиртів незалежно від концентрації фільтрату барди та сухих речовин в суслі майже не змінюється, і коливається в межах похибки експерименту.

Концентрація метанолу збільшується в 2; 1,67 та 1,14 рази при вмісті СР в замісі 18, 20, 22 % та використанні 80, 70, 60 % фільтрату барди на стадії приготування замісу відповідно.

Таблиця 5

Концентрація летких органічних домішок в бражному дистилаті при різній кількості фільтрату барди та сухих речовин на стадії приготування замісу

№ п/п	Органічні домішки, мг/дм <sup>3</sup>	Вміст сухих речовин, %					
		18		20		22	
		Контр-роль	80 % фільтрату барди	Контр-роль	70 % фільтрату барди	Контр-роль	60 % фільтрату барди
1	Ацетальдегід	10,8	2,6	2,8	2,3	3,3	1,1
2	Етилацетат	14,6	9,7	12,8	10,8	14,8	14,7
3	Ізоамілацетат	1,0	1,0	0,9	1,1	1,7	1,7
4	Етиллактат	0,6	2,0	0,7	2,0	0,6	1,5
5	Етилоктаноат	< 0,5*	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
6	Сума естерів	16,2	12,8	14,5	14,0	17,3	18,1
7	Метанол *)	0,0004	0,0008	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008
8	2-пропанол	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
9	1-пропанол	20,7	32,4	36,9	38,9	24,7	38,0
10	Ізобутанол	62,1	51,2	64,4	63,8	73,5	62,1
11	Бутанол	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9
12	Ізоаміловий спирт	310,5	273,2	313,0	309,8	382,1	337,9
13	Сума вищих спиртів	394,0	357,8	415,2	413,4	481,2	439,1
14	Ацетон	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
15	1-гексанол	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3
16	2-фенілетанол	36,5	58,8	34,2	56,6	40,5	44,2

Примітка: \*) концентрація метилового спирту, % об.

Із збільшенням кількості фільтрату барди та циклів її використання (табл. 6) концентрація головних домішок спирту — ацетону, ацетальдегіду та етилацетату збільшується у 3,0...5,0; 1,7...3,2 та 2,4...2,8 рази відповідно.

Таблиця 6

Концентрація летких органічних сполук в бражному дистилаті при рециркуляції фільтрату барди на стадії приготування замісу

№ п/п	Органічні домішки, мг/дм <sup>3</sup>	Контр-роль	Цикл											
			30 % використання фільтрату барди						60 % використання фільтрату барди					
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Ацетальдегід	1,5	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8	3,1	3,3	4,2	4,7	4,8
2	Етилацетат	6,0	7,0	7,0	9,8	14,8	14,4	14,2	7,4	11,8	12,4	16,0	16,4	16,6
3	Ізоамілацетат	сліди	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4
4	Етиллактат	2,5	2,6	2,6	3,7	4,0	4,4	4,6	3,0	3,4	4,5	5,6	7,4	7,5
5	Етилоктаноат	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	0,4	0,5	сліди	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
6	Сума естерів	8,5	9,7	9,8	13,7	19,3	19,7	19,8	10,8	16,0	17,9	22,4	24,5	24,8
7	Метанол *)	0,0006	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004
8	2-пропанол	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
9	1-пропанол	6,1	6,7	7,2	7,4	7,5	7,6	7,8	6,9	8,3	9,0	10,3	10,5	10,7
10	Ізобутанол	52,4	56,0	55,6	50,7	50,2	50,5	50,7	52,2	48,1	38,0	29,9	29,3	29,0
11	Бутанол	0,9	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6
12	Ізоаміловий спирт	224,4	233,2	229,8	227,0	211,6	195,6	192,1	221,5	202,4	174,2	144,8	134,0	132,0
13	Сума вищих спиртів	283,9	341,7	293,5	285,75	269,9	254,3	251,2	279,3	259,5	222,0	185,8	174,5	172,4
14	Ацетон	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5
15	1-гексанол	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
16	2-фенілетанол	54,9	54,8	54,8	45,2	40,1	37,0	35,0	61,6	59,6	51,5	46,3	39,8	38,9

Примітка: \*) концентрація метилового спирту, % об.

Оскільки конверсія вуглеводів в клітині здійснюється через гліколіз до пірувата, який далі перетворюється в аланін або ацетальдегід. Збільшення етилацетату пов'язано із взаємодією етанолу і оцтової кислоти.

Концентрація вищих спиртів — ізоамілового та ізобутилового (нижня проміжна домішка) суттєво змінюється і на шостому циклі при кількості фільтрату барди 60 % зменшується в середньому в 1,8 рази. Це можливо пов'язане із присутністю аланіну, що зменшує синтез вищих спиртів [10].

Концентрація пропанолу та ізоамілацетату (верхні проміжні домішки) збільшується в 1,3...1,8 та 4,0...5,0 рази відповідно.

Сумарна концентрація висококиплячків складних естерів — етиллактату та етилоктаноату (верхні проміжні домішки) збільшується в 1,9...3,1 рази відповідно.

Концентрація метилового спирту (кіцева домішка) зменшується в середньому в 1,5 рази.

Зміна концентрації летких органічних домішок в бражному дистилаті пов'язана як із зміною біосинтетичних процесів в дріжджовій клітині, так і реакціями етирефікації, які відбуваються в бражній колонії.

## 6. Висновки

Збільшення концентрації сухих речовин сусле зменшує загальний синтез летких органічних домішок спирту для жита в 1,53, пшениці — 1,3, кукурудзи — 1,9 рази відповідно. Найбільш доцільно використовувати кукурудзу, оскільки, при її використанні утворюється найменша кількість домішок.

Для зменшення синтезу вищих спиртів та ацетальдегіду процес бродиння, не залежно від концентрації сухих речовин сусле, необхідно проводити при температурах нижче 35 °С. А для зниження синтезу естерів, необхідно підвищувати температуру бродиння до 38 °С.

Використання фільтрату барди на стадії приготування замісу не тільки зменшує витрати технологічної води, але й уповільнює синтез ацетальдегіду та вищих спиртів у процесі бродиння. Із збільшенням кратності його використання до 6 циклів відбувається зростання концентрації ацетальдегіду, естерів, а синтез вищих спиртів — знижується. Тому при використанні фільтрату барди доцільно збільшувати відбір головної фракції в сплюсній колонії.

## Література

1. Василенко, З. В. Влияния видовых особенностей зерновых культур на выход и качество пищевого этилового спирта [Текст] / З. В. Василенко, Б. А. Цед, С. В. Волкова, В. В. Колпакова, А. Н. Мислиничка // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2010. — № 1. — С. 26–29.
2. Рymarева, Л. В. Повышение эффективности биотехнологических процессов спиртового производства [Текст] / Л. В. Рymarева // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2003. — № 4. — С. 13–18.
3. Franceschin, G. Ethanol from corn: a technical and economical assessment based on different scenarios [Text] / G. Franceschin, A. Zamboni, F. Bezzo, A. Bertucco // Chemical Engineering Research and Design. — 2008. — Vol. 86, № 5. — P. 488–498. doi:10.1016/j.cherd.2008.01.001
4. Balat, M. Progress in bioethanol processing [Text] / M. Balat, H. Balat, C. Öz // Progress in Energy and Combustion Science. — 2008. — Vol. 34, № 5. — P. 551–573. doi:10.1016/j.pecc.2007.11.001

5. Гулько, О. М. Энергозберігаюча технологія брагопергонки в спиртовому виробництві [Текст] / О. М. Гулько, П. Л. Шиян // Харчова і переробна промисловість. — 2008. — № 11. — С. 5–7.
6. Шиян, П. Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика [Текст]: монографія / П. Л. Шиян, В. В. Сосницький, С. Т. Олійничук. — К.: Видавничий дім «Аскаш», 2009. — 424 с.
7. Ректифікаційна установка для вилучення етилового спирту з фракцій збагачених органічними домішками [Електронний ресурс]: Пат. 69511 Україна, МКИ 7С12F3/16 / Шиян П. Л., Українець А. І., Жолнер І. Д., Сосницький В. В., Олійничук С. Т., Сизько В. Б. та ін. — опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/3-69511-rektifikacijna-ustanovka-dlya-viluchennya-etilovogo-spiritu-z-frakcij-zbagachenikh-organichnimi-domishkami.html
8. Гулько, О. М. Энергозберігаюча технологія ректифікованого спирту [Текст] / О. М. Гулько, П. Л. Шиян // Харчова і переробна промисловість. — 2008. — № 12. — С. 7–9.
9. Рymarева, Л. В. Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей [Текст] / Л. В. Рymarева. — М.: ДеЛи принт, 2010. — 252 с.
10. Українець, А. І. Склад легкої частини спиртової бражки залежно від концентрації сухих речовин сусле та температури бродиння [Текст] / А. І. Українець, П. Л. Шиян, Т. О. Мудрак, Р. Г. Кириленко, В. Б. Сизько, Г. П. Єрмакова, В. В. Сосницький // Харчова і переробна промисловість. — 2006. — № 2. — С. 18–20.

## СИНТЕЗ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ СПИРТА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

В работе проведены исследования влияния вида сырья, концентрации сусле, температуры сбраживания, количества и кратности использования фильтрата барды на стадии приготовления замоса на синтез летучих органических примесей спирта. Установлено, что все указанные технологические параметры по-разному влияют на их синтез.

**Ключевые слова:** замос, сырье, температура, брожение, фильтрат барды, синтез органических примесей, рециркуляция.

*Шиян Петро Леонидович, доктор технических наук, профессор, кафедра биотехнологий продуктов бродиння і виноробства, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, e-mail: valinia@ukr.net.*

*Мудрак Татьяна Емельяновна, кандидат технических наук, доцент, кафедра биотехнологий продуктов бродиння і виноробства, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, e-mail: mudrak\_t\_o@mail.ru.*

*Боярчук Ярослав Андрійович, аспірант, кафедра биотехнологий продуктов бродиння і виноробства, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, e-mail: zevs-gromovuk@mail.ru.*

*Шиян Петр Леонидович, доктор технических наук, профессор, кафедра биотехнологий продуктов брожения и виноделия, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.*

*Мудрак Татьяна Емельяновна, кандидат технических наук, доцент, кафедра биотехнологий продуктов брожения и виноделия, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.*

*Боярчук Ярослав Андреевич, аспирант, кафедра биотехнологий продуктов брожения и виноделия, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.*

*Shyian Petro, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: valinia@ukr.net.*

*Mudrak Tatiana, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: mudrak\_t\_o@mail.ru.*

*Boiarchuk Yaroslav, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: zevs-gromovuk@mail.ru.*