

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

БОЯРЧУК ЯРОСЛАВ АНДРІЙОВИЧ

УДК 663.4: 633.358

**ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СПИРТУ З
КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність: 05.18.05 – технологія цукристих речовин та
продуктів бродіння

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті харчових технологій
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений винахідник України

Шиян Петро Леонідович,

Навчально-науковий інститут харчових технологій
Національного університету харчових технологій,
заступник директора з наукової та патентно-
ліцензійної роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Олійнічук Сергій Тимофійович,
Інститут продовольчих ресурсів Національної академії
аграрних наук України, завідувач відділу технології
бродильних виробництв

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник

Маринченко Лоліта Вікторівна,

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського", доцент кафедри біоінформатики
факультету біотехнології і біотехніки

Захист відбудеться «2» листопада 2016 р. о 10⁰⁰ год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.04 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «30» вересня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої

вченої ради Д 26.058.04, к.т.н., доцент

М.В. Карпутіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час основною сировиною для виробництва спирту в Україні є зернові культури. Переробка зернової сировини в етиловий спирт потребує значних енергетичних та матеріальних витрат, особливо на стадії термоферментативної обробки сировини та брагоректифікації. При вилученні спирту із бражки утворюється значна кількість відходу – післяспиртової барди в кількості 11...13 дал на 1 дал спирту з концентрацією сухих речовин не більше 6...8%. Спиртові заводи використовують велику кількість технологічної води, якої не завжди достатньо для технологічних процесів. Утилізація барди шляхом випарювання з подальшим висушуванням твердої фази вимагає значних енерговитрат і є економічно недоцільною. На спиртових заводах є практика часткової заміни технологічної води (20...40%) на стадії приготування зернових замісів фільтратом барди. Концентрат барди використовують як комбікормову добавку, а невикористаний фільтрат барди необхідно утилізувати, що підвищує собівартість товарного спирту.

Крім того вилучення та концентрування спирту в процесі брагоректифікації вимагає значних енергетичних витрат, що при виробництві спирту різних категорій складає від 26082 до 34776 кДж/дал.

Тому розроблення інноваційної енерго- і ресурсозберігаючої технології виробництва спирту з крохмалевмісної сировини при виробництві етилового спирту різного цільового призначення є актуальним завданням розвитку вітчизняної спиртової промисловості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконували згідно з Держбюджетною тематикою науково-дослідних робіт НУХТ: «Дослідження та розробка енергозберігаючої технології паливного біоетанолу та біогазу в умовах України» № 0111U010379.

Автором особисто розроблено програми та методики лабораторних досліджень, оброблено та узагальнено отримані результати, визначено оптимальні значення технологічних параметрів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка інноваційної технології виробництва спирту з різних видів крохмалевмісної сировини при рециркуляції фільтрату барди на стадії приготування зернових замісів.

Вибір мети досліджень зумовив необхідність вирішення таких завдань:

- встановити раціональні параметри гідролізу біополімерів зерна концентрованими кислотостійкими ферментними препаратами при використанні фільтрату барди на стадії приготування замісу;

- визначити раціональні технологічні параметри зброджування сусла, отриманого із різних видів крохмалевмісної сировини при термоферментативній обробці замісу з використанням фільтрату барди;

- дослідити вплив технологічних параметрів термоферментативної обробки замісу та використання фільтрату барди на біосинтез побічних і вторинних продуктів бродіння;

- встановити раціональні технологічні параметри вилучення побічних і вторинних продуктів бродіння в процесі брагоректифікації з метою отримання якісного товарного спирту різного цільового призначення;

- розробити енерго- та ресурсозберігаючі технології термоферментативної обробки крохмалевмісної сировини з використанням фільтрату барди на стадії приготування замісу, брагоперегонки та ректифікації з моделюванням якісних показників товарного спирту під умови замовника.

Об'єкт дослідження – термоферментативна обробка крохмалевмісної сировини з використанням фільтрату барди, енерго- та ресурсозберігаюча технологія брагоректифікації.

Предмет дослідження – крохмалевмісна сировина (пшениця, жито, кукурудза), зерновий заміс, фільтрат барди, кислотостійкі концентровані ферментні препарати, спиртові дріжджі, зріла бражка, напівпродукти спиртового виробництва.

Методи дослідження – спеціальні аналітичні, хімічні, фізико-хімічні, газо-хроматографічні методи досліджень з використанням сучасних приладів.

Експериментальні дані обробляли за допомогою методів експериментально-статистичного моделювання у програмах Mathcad 2013 Professional, Statistical.

Наукова новизна одержаних результатів.

Обґрунтована доцільність застосування кислотостійких ферментних препаратів при повному використанні фільтрату барди для приготування зернового замісу із постадійним їх введенням на різних технологічних ділянках.

Встановлений вплив фільтрату барди, кислотостійких ферментних препаратів, технологічних параметрів термоферментативної обробки замісів та зброджування сусла з різних видів крохмалевмісної сировини на біосинтез супутніх органічних домішок спирту.

Визначено зони максимальної концентрації основних летких домішок спирту в процесі брагоректифікації (при тиску нижчим за атмосферний), що дозволяє вилучати їх в більш концентрованому вигляді, підвищити вихід і якість товарного етилового спирту різного цільового призначення.

Практичне значення одержаних результатів.

Визначено раціональні технологічні параметри приготування спиртової бражки при рециркуляції фільтрату барди на стадії приготування замісів з крохмалевмісної сировини.

Запропоновано постадійне введення комплексу ферментних препаратів в зони їх максимальної ефективної дії.

Розроблено енерго- та ресурсозберігаючу технологію спиртової бражки при рециркуляції фільтрату барди на стадії приготування замісу.

Запропоновані енерго- та ресурсозберігаючі заходи брагоперегонки та ректифікації при тиску нижчому за атмосферний з моделюванням якісних показників товарного спирту різного цільового призначення.

Розроблено рівняння регресії для розрахунку кількості фільтрату барди для приготування замісу в залежності від початкової концентрації сусла та концентрації спирту в бражному дистиляті.

Запропоновано математичну модель для визначення оптимальної витрати гріючої пари на брагоперегонку залежно від концентрації спирту в бражці та тиску в бражній колоні.

Визначено ступінь вилучення та концентрування ацетальдегіду, метанолу, ізоамілацетату, н-пропанолу, н-бутанолу, ізопропанолу, ізобутилацетату, ізоамілового спирту та метилацетату, етилацетату, н-пентанолу в розгінній колоні при тиску нижчому за атмосферний (залишковий тиск в межах: верх – $54,31 \pm 2,00$ кПа та низ – $78,43 \pm 2,00$ кПа) залежно від концентрації спирту у кубі колони.

Розроблено тимчасову технологічну інструкцію енерго- та ресурсозберігаючої технології спиртових бражок з постадійним гідролізом біополімерів зерна та використання фільтрату барди для Кобиловолодського МПД ДП «Укрспирт».

Матеріали досліджень використовуються в навчальному процесі.

На розроблену технологію отримано патент України на корисну модель.

Особистий внесок здобувача. Автором особисто розроблено програми лабораторних і промислових досліджень, проведено лабораторні та промислові дослідження, узагальнено їх результати, створено математичну модель розрахунку оптимальної витрати гріючої пари на брагоперегонку залежно від концентрації спирту в бражці та тиску в бражній колоні. Автор безпосередньо приймав участь в організації і проведенні дослідно-промислових випробувань, обробці та аналізі результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень повідомлено, обговорено та схвалено на Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів (2012-2016 рр.), Міжнародній науковій конференції «Хранительна наука, техника и технологии» (Пловдив, 2013 р.), VII-му Международному научно-практическому симпозиуме (Москва, 2014 р.), Міжнародній науковій конференції «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» (Воронеж, 2015 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 друкованих праць, в тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях, чотири з яких у науково-метричних базах, одна з яких у міжнародному виданні, 1 патенті України на корисну модель та 8 тезах на наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Роботу викладено на 156 сторінках основного тексту, 25 рисунках і 31 таблиці. Список використаної літератури містить 59 вітчизняних і 69 зарубіжних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено мету та завдання досліджень, охарактеризовано новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані щодо їх апробування, а також відомості про особистий внесок здобувача в проведених дослідженнях і підготуванні публікацій.

У першому розділі «Характеристика процесів термоферментативної обробки, утилізації барди та синтезу летких домішок спирту» наведено аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної інформації щодо термоферментативної обробки крохмалевмісної сировини, утилізації післяспиртової барди та синтезу летких домішок спирту в процесі спиртового бродіння. Проведене теоретичне узагальнення досліджень по використанню фільтрату барди на стадії приготування замісу засвідчило його ефективність.

Узагальнено світовий і вітчизняний науково-практичний досвід синтезу летких домішок спирту в процесі бродіння за різних технологічних режимів приготування суслу. Зроблено теоретичний аналіз впливу різних факторів на мікрофлору напівпродуктів спиртового виробництва. Відповідно до проведеного огляду літературних джерел сформульовано мету та основні завдання досліджень.

У другому розділі «Об'єкти, методи і методика досліджень» наведено схему досліджень, охарактеризовано об'єкт, предмет, методи та методику досліджень.

Робота виконана в лабораторних та промислових умовах з використанням стандартизованих методів досліджень. Визначення технологічних показників проводили за прийнятими у спиртовій галузі методиками. Склад летких домішок спирту в бражних дистилятах визначали газохроматографічним методом на газовому хроматографі Кристал-2000М. Оброблення цифрових даних та графічне оформлення результатів досліджень здійснювали за допомогою персонального комп'ютера із застосуванням програм Microsoft Word, Microsoft Excel, CorelDRAW X6, Mathcad 2013 Professional, Statistical (StatSoft).

У третьому розділі «Удосконалення процесів термоферментативної обробки зернових замісів з використанням фільтрату барди» наведено результати досліджень впливу кислотостійких ферментних препаратів (ФП) та фільтрату барди у процесі приготування замісу на показники дозрілої бражки.

При використанні фільтрату барди на стадії приготування замісу незалежно від його кількості рН знижується. Першим етапом досліджень була необхідність визначити вплив концентрації кислотостійких ферментних препаратів на хіміко-технологічні показники зрілої бражки. Для досліджень використовували кислотостійкий ФП Amylex HT в якості α -амілази, що задавали в кількості 0,075, 0,2 і 0,4 од. АЗ/г крохмалю.

Заміс готували при гідромодулі 1:3 із кукурудзи крохмалистістю 63,8%, помел складав 100% прохід через сито з діаметром в 1,0 мм. Термоферментативна обробка (ТФО) була проведена як за рекомендаціями фірми виробника так і при температурі клейстирезації крохмалю сировини. Як видно з таблиць 1 і 2 нормативні вимоги бражки (табл. 3) були отриманні при наступних параметрах: температура ТФО 68 °С (кукурудза) та 58 °С (жито), експозицією 1,5 год, концентрацією ФП 0,2...0,4 од. АЗ/г крохмалю.

Для проведення експериментальних досліджень по використанню різної кількості фільтрату барди (в тому числі повного його використання) на стадії приготування замісу та його впливу на хіміко-технологічні показники зрілої бражки

були проведені розрахунки кількості виходу фільтрату барди залежно від концентрації сухих речовин (СР) суслу за допомогою виведеного рівняння регресії:

$$Y = 105,21 - 2,21 * x_1 + 0,51 * x_2 - 1,48 * x_3,$$

де Y – кількість фільтрату барди, %;

x_1 – концентрація спирту в бражці, об.%;

x_2 – концентрація спирту в бражному дистиляті, мас.%;

x_3 – концентрація сухих речовин в суслі, %.

Коефіцієнт детермінації $R=0,98$.

Таблиця 1 – Вплив температури, експозиції термоферментативної обробки та концентрації α -амілази на хіміко-технологічні показники бражки із кукурудзи

№ з/п	Умови дослідів				рН браж- ки	Вуглеводи, г/ 100 см ³			Кон- цен- трація спирту об.%
	Концерн- трація α- амілази, од. АЗ/г крох- малю	τ, год	t, °C	рН за- місу		Роз- чинені	Загальні	Нероз- чинений крох- маль	
1	Контроль	3,0	90	5,96	4,47	0,107	0,209	0,092	9,68
2	0,075	1,5	63	3,8	3,72	0,075	0,510	0,392	8,95
3	0,2				3,77	0,080	0,470	0,350	9,00
4	0,4				3,78	0,080	0,480	0,360	9,08
5	0,075				3,8	0,121	0,410	0,260	9,41
6	0,2	1,5	68		3,78	0,108	0,226	0,106	9,75
7	0,4				3,79	0,112	0,223	0,100	9,72
8	0,075				3,78	0,130	0,530	0,360	9,0,9
9	0,2				3,72	0,130	0,520	0,351	9,12
10	0,4	3,0	63		3,72	0,112	0,520	0,360	9,18
11	0,075				3,78	0,136	0,440	0,270	9,43
12	0,2				3,79	0,132	0,307	0,160	9,61
13	0,4				3,72	0,136	0,329	0,174	9,60

В таблиці 3 наведено хіміко-технологічні показники зрілої бражки при повному використанні фільтрату барди.

Концентрація розчинених вуглеводів з використанням фільтрату барди збільшилась в 1,41...1,52 рази відносно контролю. Концентрація нерозчиненого крохмалю у всіх зразках не перевищувала регламентованих. рН бражки становила 4,3...4,5. Вихід спирту з 1 т умовного крохмалю збільшився на 0,9...1,1%.

Подальші дослідження були спрямовані на визначення оптимальних умов приготування замісу при багаторазовій рециркуляції фільтрату барди на стадії приготування зернових замісів.

Середня кількість виходу фільтрату барди при концентрації спирту в бражці 12...13 об.% та закритому обігріві бражної колони складає 60...65% від загальної потреби води необхідної для приготування замісу.

В процесі досліджень використовували зерно кукурудзи крохмалистістю 68,1% при гідромодулі 1÷2,6.

Рециркуляцію фільтрату барди здійснювали до 6 циклів в кількості 20, 30, 40 та 60% від загальної потреби води.

Таблиця 2 – Вплив температури, експозиції розріджування та концентрації розріджуваного ферментного препарату на хіміко-технологічні показники бражки із жита

№ з/П	Умови досліджу				рН браж- ки	Вуглеводи, г/ 100 см ³			Кон- цен- трація спирту об. %
	Концен- трація α- амілази, од. АЗ/г крохма- лю	τ, год	t, °C	рН замі- су		Розчи- нені	Загальні	Нероз- чинений крох- маль	
1	Контроль	3,0	90	6,18	4,93	0,664	0,700	0,050	9,35
2	0,075	1,5	50	3,8	3,68	0,240	1,000	0,684	8,22
3	0,2				3,65	0,175	0,920	0,670	8,04
4	0,4				3,71	0,170	0,818	0,580	8,12
5	0,075				3,70	0,410	0,720	0,280	8,95
6	0,2		58		3,72	0,390	0,501	0,100	9,20
7	0,4	3,78			0,385	0,495	0,099	9,18	
8	0,075	3,0			50	3,69	0,520	1,200	0,612
9	0,2		3,72			0,498	1,000	0,450	7,07
10	0,4		3,71			0,498	0,995	0,440	7,18
11	0,075		58			3,75	0,520	1,320	0,720
12	0,2				3,77	0,450	0,917	0,420	8,28
13	0,4	3,75			0,448	0,870	0,380	8,25	

Аналіз хіміко-технологічних показників сусла та бражки показав, що із підвищенням кількості циклів використання фільтрату барди рН сусла знизилась. Так в контрольному зразку рН сусла становило 6,20, із підвищенням кількості використання фільтрату барди цей показник знизився і на першому циклі при 60 % заміні води фільтратом барди (повне його використання) він складав 5,80, а на шостому циклі – 4,45.

Аналіз експериментальних даних показав, що із підвищенням циклів рециркуляції фільтрату барди знизилось не тільки рН сусла, а і зросла його в'язкість. На перших двох циклах використання фільтрату барди в'язкість розріджуваного замісу змінилась в достатньо вузькому діапазоні – 1,1...1,7 Па·с. На

третьому циклі в'язкість суслу зросла до 1,3...2,7 Па•с, але залишалась достатньо рухливою для використання відцентрових насосів (Рис. 1).

На четвертому циклі в'язкість розрідженого суслу зросла до 1,5...3,2 Па•с і при 60-ти відсотковому використанні фільтрату барди його перекачування відцентровими насосами значно ускладнюється.

Поступове зростання в'язкості суслу може бути викликано: зміщенням ізоелектричної точки білка (що адсорбує воду з утворенням колоїдної системи – гель); підвищенням концентрації частково коагульованих білків із наступною адсорбцією на них ферментів, що негативно впливало на активність α -амілази, а також внесення нерозчинних сухих речовин із фільтратом барди.

Таблиця 3 – Вплив кількості фільтрату барди на хіміко-технологічні показники зрілої бражки

№ з/п	Назва показника	Нормативні вимоги	Концентрація сухих речовин, %					
			18,0		20,0		22,0	
			Конт-роль	80% фільтрату барди	Конт-роль	70% фільтрату барди	Конт-роль	60% фільтрату барди
1	Розчиненні вуглеводи, г/100 см ³	0,25 ... 0,45	0,211	0,321	0,252	0,368	0,298	0,420
2	Нерозчинний крохмаль, г/100 см ³	0,1 $\geq$	0,095	0,100	0,090	0,095	0,090	0,100
3	pH	-	4,4	4,3	4,4	4,4	4,5	4,3
4	Концентрація етанолу, об. %	8...13	9,1	9,2	10,4	10,5	11,5	11,6
5	Вихід спирту, дал/г	66,5 $\leq$	66,53	67,21	66,50	67,13	66,5	67,11

З метою збільшення циклів рециркуляції фільтрату барди та зниження в'язкості замісу використовували протеолітичний ферментний препарат Alphalase AFR із розрахунку 0,035 од. ПЗ/г сировини та кислотостійку α -амілазу – Amylex A3 – 0,25 од. АЗ/г крохмалю при експозиції 30 хв та температурі 55...57⁰С на стадії приготування замісу. В подальшому підвищували температуру до 65...70⁰С в присутності термостабільної α -амілази Tegamyl HS 77 L (0,25 од. АЗ/г крохмалю) витримували 120 хв та здійснювали остаточне розрідження при температурі 90⁰С протягом 60 хв. Розріджений заміс охолоджували до 32⁰С задавали ферментний препарат Tegamyl GA 400 L із розрахунку 6 од. ГЛЗ/г крохмалю і зброджували чистою культурою дріжджів *Sacch. cerevisiae* ДО-11 протягом 72 год.

При вказаних параметрах термоферментативної обробки сировини з рециркуляцією фільтрату барди, в'язкість розрідженого замісу при 60 %-му використанню фільтрату барди на 6-му циклі збільшилась з 1,23 Па•с до 2,3 Па•с при граничному значенні в'язкості не більше 3,0 Па•с (Рис.2).

Із зростанням кількості циклів рециркуляції фільтрату барди концентрація водорозчинних вуглеводів бражки поступово зростає і на шостому циклі підвищилася в 1,57...2,16 рази.

На шостому циклі зброджування суслу при кількості фільтрату барди 60% відбулось підвищення концентрації декстринів до 0,3 г/100 см³ бражки в результаті чого знизилась концентрація спирту в бражках в порівнянні з першим циклом на 2,43%. Синтез дріжджових клітин з підвищенням кількості фільтрату барди зріс у 1,05...1,35 рази в порівнянні з контрольним зразком і практично не залежав від кількості рециркуляцій. Протягом 6 циклів дріжджі були однаковими за розмірами, мали круглу форму, але концентрація мертвих клітин із збільшенням циклів поступово зростає і на 6 циклі підвищилась на 10...15%.

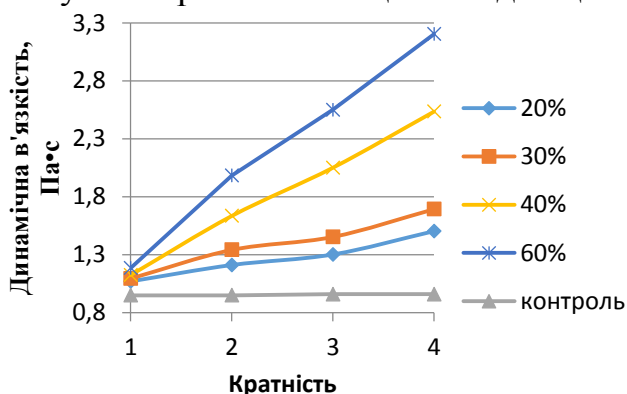


Рисунок 1 – Вплив кількості фільтрату барди та кратності використання на динамічну в'язкість суслу при одностадійній ТФО

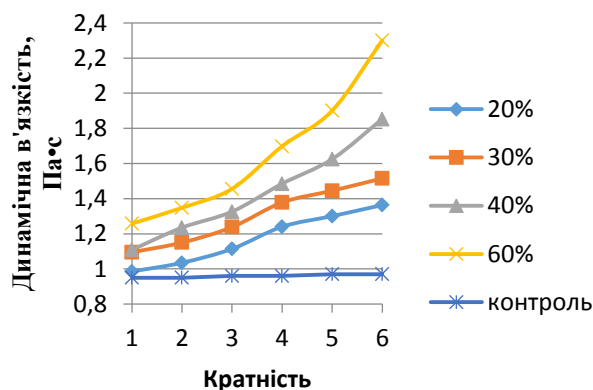


Рисунок 2 – Вплив кількості фільтрату барди та кратності використання на динамічну в'язкість суслу при постадійній ТФО

Концентрація гліцерину в бражці підвищилась залежно від кількості фільтрату барди від 1,1...1,2 рази на першому циклі до 1,4...1,5 на шостому, що пов'язано із збільшенням дріжджової популяції та її біосинтетичною активністю, а також із внесенням цього компонента з кожним циклом.

У четвертому розділі «Дослідження впливу технологічних параметрів приготування бражки на біосинтез вторинних і побічних продуктів» наведено результати досліджень впливу виду сировини, концентрації сухих речовин суслу, кількості та кратності використання фільтрату барди на біосинтез летких домішок спирту.

Для досліджень використовували сусло із жита концентрацією сухих речовин 20, 21, 22 і 23%, із пшениці – 20, 23, 25 і 26% та із кукурудзи – 18, 20, 26 та 30% при використанні 100 % артезіанської води. Дисперсність помелів сировини складала 100% прохід крізь сито з діаметром отворів 1мм.

Розріджування та оцукрювання замісів проводили концентрованими ферментними препаратами Tegamyl HS 77 L та Tegamyl GA 400 L при температурах 85...90 °C та 50...55 °C відповідно. Сусло зброджували дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* ДО-11 при температурі 32 °C впродовж 72 год.

Встановлено, що з підвищенням концентрації сухих речовин суслу загальний синтез летких органічних домішок зменшився для жита в 1,5, пшениці – 1,3,

кукурудзи – 1,9 рази відповідно. Найбільш доцільно використовувати кукурудзу, оскільки, при її використанні утворюється найменша концентрація домішок.

Збільшення початкової концентрації сухих речовин суслу є ефективним технологічним заходом, що дозволяє знизити енерговитрати на одиницю продукції, підвищити потужність бродильного відділення і знизити витрати на утилізацію післяспиртової барди.

В роботі були проведені дослідження щодо впливу використання фільтрату барди, його кількості й кратності в процесі приготування замісу на синтез летких домішок під час бродіння.

Для досліджень використовували кукурудзу крохмалистістю 68,1%. Досліди проводили для умов повного використання фільтрату барди, кількість якого залежить від концентрації сухих речовин у суслі, концентрації спирту в бражці та бражному дистиляті. Враховуючи це, фільтрат барди вносили із розрахунку 60, 70 та 80 % від кількості технологічної води.

Термоферментативну обробку здійснювали постадійно за раніше визначеними технологічними параметрами (розділ 3). Визначено вплив концентрації сухих речовин та використання фільтрату барди на склад летких домішок спирту (табл. 4). Таблиця 4 – Концентрація летких домішок в бражному дистиляті при різній кількості фільтрату барди та сухих речовин в суслі

№ з/п	Органічні домішки, мг/дм ³	Вміст сухих речовин в суслі, %					
		18		20		22	
		Контроль	80% фільтрату барди	Контроль	70% фільтрату барди	Контроль	60% фільтрату барди
1	ацетальдегід	10,8	2,6	7,4	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 (об.%)	0,0004	0,0008	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008
8	1-пропанол	20,7	32,4	36,9	38,9	24,7	38,0
9	ізобутанол	62,1	51,2	64,4	63,8	73,5	62,1
10	бутанол	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9
11	ізоамілол	310,5	273,2	313,0	309,8	382,1	337,9
12	сума вищих спиртів	394,0	357,8	415,2	413,4	481,2	439,1

Встановлено, що концентрація ацетальдегіду при використанні фільтрату барди знизилась у порівнянні із контролем в 4,15...3,00 рази в залежності від концентрації сухих речовин суслу 18...22 % відповідно.

Синтез етилацетату збільшився до $14,7 \text{ мг/дм}^3$ при підвищенні концентрації сухих речовин до 22%. Загальна концентрація естерів при збільшенні концентрації сухих речовин зросла на 4,5 % в порівнянні з контролем. Сума вищих спиртів знизилась на 0,5...9,2% від концентрації сухих речовин. Концентрація метанолу збільшилася в 2,00; 1,67 та 1,14 рази при концентрації СР в суслі 18, 20, 22% відповідно.

Для визначення впливу кратності використання фільтрату барди на утворення летких органічних домішок використовували сусло концентрацією 22 % СР та повне використання фільтрату барди. Із збільшенням кількості циклів використання фільтрату барди до шести кількість етилацетату та сума естерів зросла в 2,77; 2,92 рази, а концентрація загальної суми вищих спиртів знизилася в 1,65 рази відповідно. Концентрація ацетальдегіду та пропанолу збільшилась в 1,71...1,79 та 1,16...1,55 рази (Рис. 3).

Концентрація метилового спирту зменшилася в середньому в 1,5 рази.

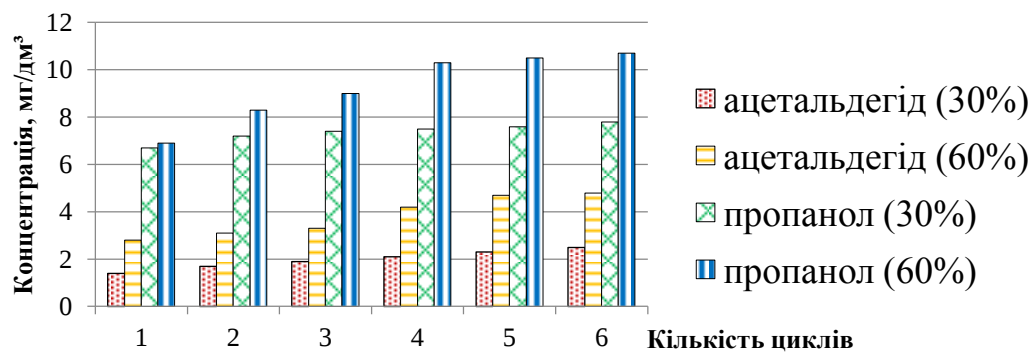


Рисунок 3 – Концентрація летких домішок залежно від кількості фільтрату барди та циклів його використання

Таким чином при отриманні товарного спирту різного цільового призначення необхідно враховувати вплив багаторазового використання фільтрату барди на синтез летких домішок спирту для оптимізації роботи брагоректифікаційної установки.

У п'ятому розділі «Моделювання якісних показників товарного спирту різного цільового призначення» досліджено зони максимальної концентрації основних домішок спирту в брагоректифікаційній установці для зменшення енерговитрат на брагоперегонку процес проводять при тиску нижчому за атмосферний. Експериментальні дослідження проводились на Козлівському МПД ДП «Укрспирт» (табл. 5).

Встановлено, що:

В зоні відбору сивушного спирту (робота спиртової колони $P_v=78,53\pm 2,00 \text{ кПа}$, $P_n=98,18\pm 2,00 \text{ кПа}$), концентруються основним чином верхні проміжні домішки н-пропанол (до $459,8 \text{ мг/дм}^3$), ізобутанол (до $483,2 \text{ мг/дм}^3$) та ізоамілацетат (до $5,9 \text{ мг/дм}^3$). Концентрація нижніх проміжних домішок: ізопропанолу, н-бутанолу незначні і не перевищують $5,1 \text{ мг/дм}^3$. В зоні відбору сивушної фракції (СФ) відбувається інтенсивне концентрування ізобутанолу (до 18530 мг/дм^3), ізоамілового спирту (до 66010 мг/дм^3), а також концентрування н-пропанол (до 12110 мг/дм^3).

В пробах конденсату з конденсатора бражної колони (БК) ($P_B=56,94\pm 2,00$ кПа, $P_H=68,70\pm 2,00$ кПа) виявлено підвищену концентрацію естерів (основним чином етилацетату – $409,5$ мг/дм³), вищих спиртів (ізобутанолу – $440,9$ мг/дм³, ізоамілового спирту – 1169 мг/дм³).

У конденсаторі сепаратора бражки відбувається концентрування домішок: ацетальдегіду (до $181,28$ мг/дм³), етилацетату (до 1125 мг/дм³), н-пропанолу (до $492,8$ мг/дм³), ізобутанолу (до 1528 мг/дм³), ізоамілового спирту (до 5918 мг/дм³).

Відбір складних естерів (ізобутилацетат, ізоамілацетат) доцільно відбирати з зон їх максимального концентрування. Ізобутилацетат відбирають із конденсатом, який поступає із конденсаторів сепаратора CO₂ та бражної колони. Ізоамілацетат з конденсатора сепаратора CO₂ та з зони відбору сивушного спирту.

У зв'язку з тим, що основна зона концентрування н-пропанолу знаходиться у конденсаторі сепаратора CO₂ та зоні відбору сивушної фракції, доцільно організувати його відбір при виробництві ректифікованого спирту з конденсатора сепаратора CO₂ та збільшити відбір сивушної фракції.

Таблиця 5 – Концентрація летких домішок спирту в напівпродуктах ректифікації

Домішки спирту	Концентрація домішок в напівпродуктах, мг/дм ³ (концентрація алкоголю, об.%)			
	Конденсат із конденсатора сепаратора бражки (56 об.%)	Конденсат із конденсатора БК (87 об.%)	Сивушна фракція (51 об.%)	Сивушний спирт (93,0 об.%)
Ацетальдегід	181,28	220,68	2,28	4,59
Метилацетат	13,68	12,84	сліди	1,18
Етилацетат	1125	409,5	сліди	45,46
Метанол	0,008	0,01	0,022	0,0017
Ізопропанол	3,64	0,89	14,3	0,94
Ізобутилацетат	3,05	0,26	сліди	сліди
Н-пропанол	492,8	305,7	12110	459,8
Кр. альдегід	сліди	сліди	сліди	сліди
Ізобутанол	1528	440,9	18530	483,2
Ізоамілацетат	53,10	4,81	сліди	5,88
Н-бутанол	15,69	4,7	230,4	5,1
Ізоаміловий спирт	5918	1169	66010	1432
Н-пентанол	2,42	1,84	108,7	0,37
Н-гексанол	9,09	2,75	68,71	1,9
Фурфурол	сліди	сліди	сліди	сліди
Бензальдегід	2,46	сліди	9,79	сліди

Витрата гріючої пари залежить від концентрації спирту та летких домішок в бражці, що в свою чергу залежить від технологічних параметрів приготування спиртової бражки. Тому було розраховано витрати пари для бражної колони при такому тиску: $101,3$ кПа, $77,0$ кПа та $50,6$ кПа залежно від концентрації спирту та

супутніх домішок у бражці. Це дало змогу отримати лінійне рівняння регресії витрат гріючої пари від концентрації спирту в бражці та тиску у бражній колоні:

$$Y = 31,758 - 1,397 * x_1 + 0,052 * x_2,$$

де Y – витрати пари на бражну колону, кг/дал;

x_1 – концентрація спирту в бражці, об.%;

x_2 – тиск в бражній колоні, кПа.

Коефіцієнт детермінації $R=0,92$.

Визначено оптимальні параметри розгінної колоні (РК) залежно від тиску та концентрації спирту (3,7; 3,9; 4,2; 4,3; 4,6; 4,9; 6,0 об.%) в кубі колоні (табл. 6).

Ступінь вилучення (β) та концентрування (λ) домішок залежить від концентрації спирту в кубі, яку регулюють подачею води на гідроселекцію.

До першої групи можна віднести: ацетальдегід, метанол, ізоамілацетат, н-пропанол, н-бутанол, ізопропанол, ізобутилацетат, ізоаміловий спирт. Для їх ефективного концентрування, у розгінній колоні, необхідно підтримувати концентрацію спирту в кубі 3,6...4,3 об.%.
Таблиця 6 – Концентрація летких домішок спирту в розгінній колоні при концентрації спирту в кубовій рідині 3,9 об.% ($P_B=55,80\pm 2,00$ кПа, $P_H=79,14\pm 2,00$ кПа)

Таблиця 6 – Концентрація летких домішок спирту в розгінній колоні при концентрації спирту в кубовій рідині 3,9 об.% ($P_B=55,80\pm 2,00$ кПа, $P_H=79,14\pm 2,00$ кПа)

Домішки спирту, мг/дм ³	Зона відбору проби (концентрація алкоголю, об.%)				
	КЕС, мг/дм ³ (71,5 об.%)	Куб РК, мг/дм ³ (3,9 об.%)	Живлення колони, мг/дм ³ (75 об.%)	Ступінь концентру- вання домішок, λ	Ступінь вилучен- ня домішок, β
Ацетальдегід	340,7	2,4	114,1	2,98	47,56
Метилацетат	141,9	сліди	25,7	5,51	повна
Етилацетат	6159	5,9	650,8	9,46	110,31
Метанол	0,031	0,060	0,061	0,51	1,02
Ізопропанол	45,8	сліди	4,4	10,40	повна
Ізобутилацетат	131,7	сліди	6,6	20,05	повна
Н-пропанол	36200	3480	5067	7,14	1,46
Кр. альдегід	28,8	сліди	сліди	повна	повна
Ізобутанол	81990	68,0	4546	18,04	66,86
Ізоамілацетат	557,9	сліди	24,6	22,69	повна
Н-бутанол	1039	сліди	68,5	15,2	повна
Ізоамілол	259400	243,8	13360	19,42	54,80
Н-пентанол	95,5	44,3	45,6	2,09	1,03
Н-гексанол	322,1	сліди	33,5	9,62	повна
Фурфурол	18,4	сліди	7,0	2,65	повна
Бензальдегід	18,8	сліди	5,4	2,98	47,56

*КЕС – концентрат естеров-сивушний.

До 2 групи: метилацетат, етилацетат, н-пентанол. Для їх ефективного концентрування – підтримувати концентрацію спирту 5,9...6,1 об.%.
У зв'язку з тим, що основна зона концентрування н-пропанолу знаходиться у конденсаторі сепаратора CO₂ та зоні відбору сивушної фракції, доцільно

організувати його відбір при виробництві ректифікованого спирту з конденсатора сепаратора CO₂ та збільшити відбір сивушної фракції, а також підтримувати концентрацію спирту в кубі розгінної колони 3,6...4,3 об.%

У шостому розділі «Розробка технологічної схеми виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини за удосконаленою технологією» наведені узагальнені результати досліджень.

На підставі аналізу та узагальнення результатів досліджень була удосконалена технологічна схема термоферментативного гідролізу біополімерів зерна з використанням фільтрату барди на стадії приготування замісу (рис. 4) та розроблена апаратурно-технологічна схема постадійного термоферментативного гідролізу крохмалевмісної сировини (рис. 5).

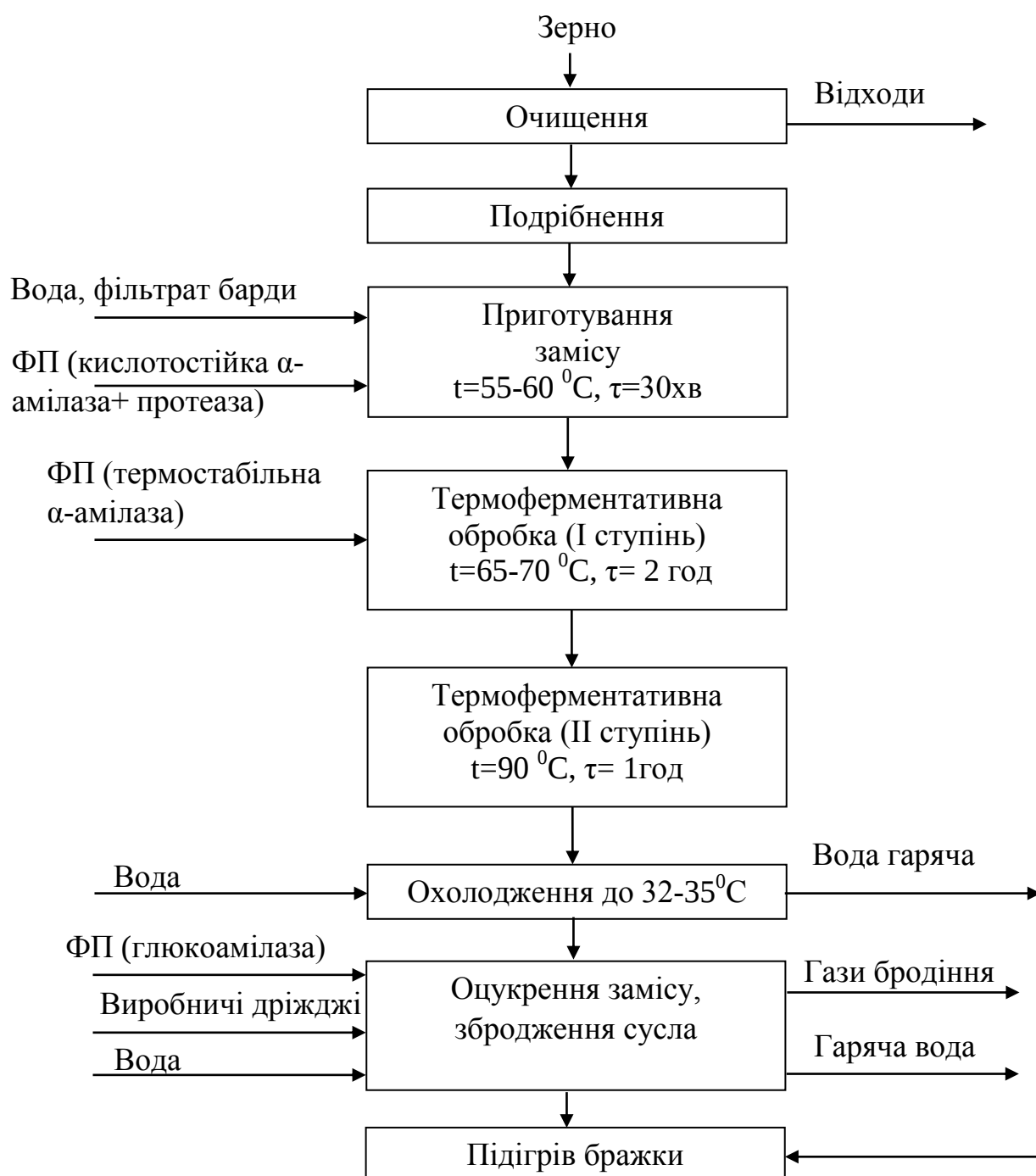


Рисунок 4 – Удосконалена принципово-технологічна схема інноваційної технології виробництва спирту з крохмалевмісної сировини

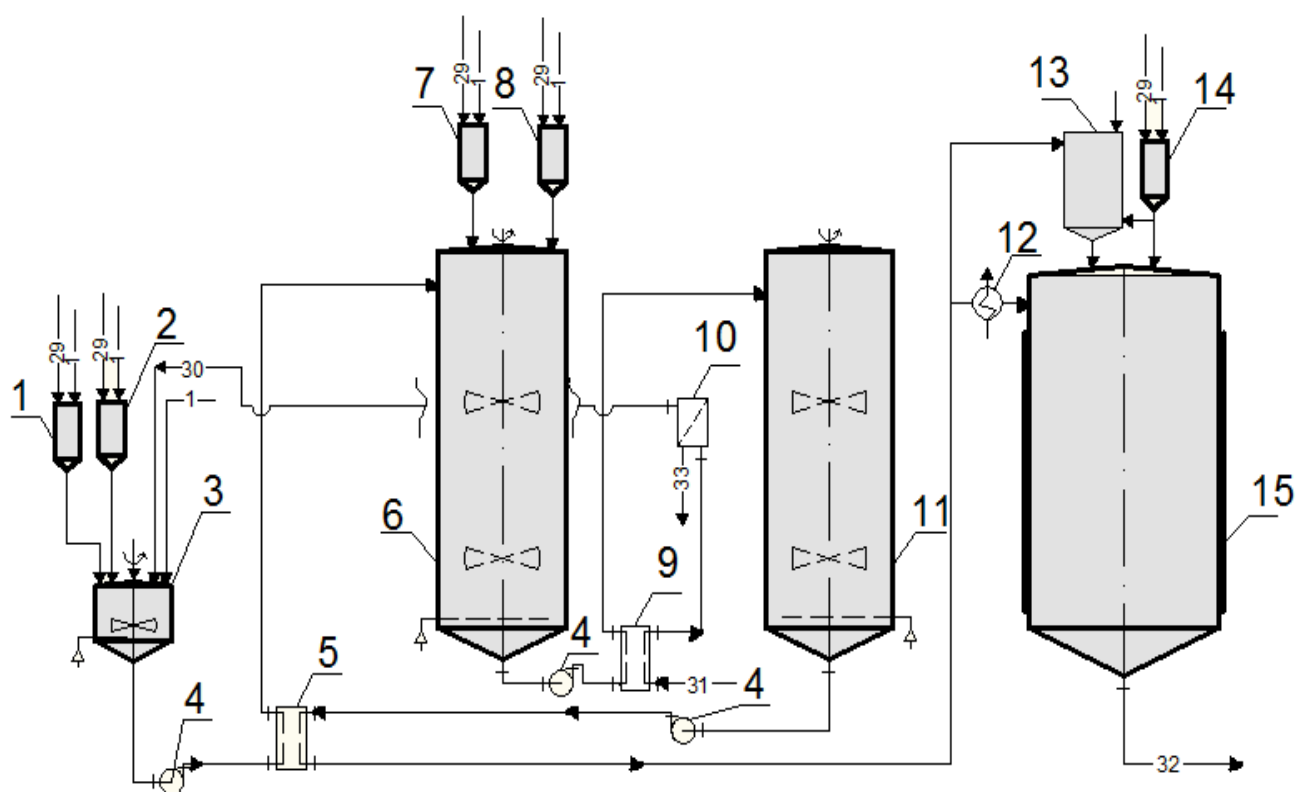


Рисунок 5 – Апаратурно-технологічна схема постадійного термоферментативного гідролізу крохмалевмісної сировини

1 – збірник робочого розчину кислотостійкої α -амілази; 2 – збірник робочого розчину протеази; 3 – змішувач; 4 – насос; 5, 9 – рекуперативні теплообмінники; 6 – апарат ТФО першого ступеня (кількість – 2); 7 – збірник робочого розчину термостабільної α -амілази; 8 – збірник робочого розчину ксиланази; 10 – фільтр барди; 11 – апарат ТФО другого ступеня; 12 – охолоджувач суслу; 13 – дріжджанка; 14 – збірник робочого розчину глюкоамілази; 15 – бродильний апарат,.

Умовні позначення: 1 – вода, 29 – ферментні препарати, 30 – фільтрат барди, 31 – барда, 32 – зріла бражка, 33 – концентрат барди.

Враховуючи вплив фільтрату барди на біосинтез органічних сполук необхідно проводити відбір: головних домішок спирту з конденсатом конденсаторів сепаратора CO_2 , бражної колони та ГФ; верхніх проміжних домішок з сивушним спиртом та СФ; нижніх проміжних домішок з конденсатом сепаратора CO_2 та СФ в кількості від цільового призначення товарної продукції.

Дослідно-промислові випробування розробленої технології на Кобиліволоському МПД ДП «Укрспирт» підтвердили можливість повного використання фільтрату барди при початковій концентрації СР суслу 20...22 %. Економічний ефект від впровадження удосконаленої технології за рахунок економії палива, артезіанської води, утилізації барди та використання кислотостійких ферментних препаратів складає 7,17...7,29 грн/дал при вартості однієї Гкал – 1481,1 грн. Термін окупності впровадження розробленої технології складає інвестиційний 0,15 року та дисконтований – 0,73...0,74 роки. При цьому багаторазове використання фільтрату барди знижує відходи спиртового виробництва, що покращує екологічний стан навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного системного аналізу теоретичних та експериментальних досліджень зроблені наступні висновки:

1. Розроблена інноваційна технологія виробництва спирту, що базується на постадійній термоферментативній обробці крохмалевмісної сировини комплексом ферментних препаратів (в тому числі кислотостійких) в зонах їх максимальної активності та при повному використанні фільтрату барди для концентрації сухих речовин суслу 18...22%.

2. Використання кислотостійких ферментних препаратів дозволяє проводити термоферментативну обробку зернових замісів на першій стадії при рН 3,8...4,0 та температурі 58...60 °С (для жита) та 68...70 °С (для кукурудзи).

3. Оптимальна витрата кислотостійкої α -амілази при переробці кукурудзи складає 0,25 од. АЗ/г крохмалю. Для більш повного гідролізу біополімерів жита, пшениці, зменшення в'язкості суслу та підвищення концентрації в ньому амінного азоту необхідно використовувати додаткові гідролітичні ферментні препарати: протеазу – 0,035 од. ПЗ/г сировини та ксиланазу – 4,0 КЗ/г сировини. Другу стадію ТФО проводити при температурі 88...90 °С з використанням термостабільної α -амілази (0,25 од. АЗ/г крохмалю).

4. Отримане рівняння регресії дозволяє розрахувати кількість фільтрату барди залежно від концентрації сухих речовин суслу та витрати гріючої пари бражної колони на процес брагоперегонки при тиску 50,6...101,3 кПа залежно від концентрації спирту.

5. Повне використання фільтрату барди (концентрація сухих речовин суслу 18...22%) впливає на синтез летких органічних сполук спирту: концентрація ацетальдегіду та складних естерів збільшується в 3,2 та 2,9 рази відповідно, а синтез вищих спиртів – знижується в 1,7 рази.

6. При виробництві високоякісного харчового спирту доцільно збільшувати відбір фракцій збагачених головними домішками з конденсатора сепаратора CO₂ та конденсатора бражної колони 0,5...1,5 % та відбір головної фракції 7,0...10,0 % абсолютного алкоголю бражки. При виробництві спирту технічного призначення (в т.ч. біоетанолу), відбір вищезгаданих фракцій, зменшується до забезпечення їх якісних показників, що підвищує питомий вихід товарної продукції.

7. При роботі розгінної колони під розрідженням (залишковий тиск в межах: верх – 54,31±2,00 кПа та низ – 78,43±2,00 кПа) характер поведінки домішок спирту залежить від ступеня гідроселекції. Для зменшення концентрацій ацетальдегіду, метанолу, ізоамілацетату, н-пропанолу, н-бутанолу, ізопропанолу, ізобутилацетату, ізоамілового спирту необхідно підтримувати концентрацію спирту кубової рідини в розгінній колоні у межах 3,6...4,3 об.%, а для зменшення концентрацій метилацетату, етилацетату, н-пентанолу концентрація спирту в кубі повинна бути 5,9...6,1 об.%.

8. Розроблена технологія постадійного термоферментативного гідролізу крохмалевмісної сировини впроваджена на Кобиліволоському МПД ДП «Укрспирт». Економічний ефект від впровадження технології за рахунок економії палива, артезіанської води, утилізації фільтрату барди та використання

кислотостійких ферментних препаратів складає 7,17...7,29 грн/дал при вартості однієї Гкал – 1481,1 грн. Термін окупності впровадження розробленої технології складає інвестиційний 0,15 року та дисконтований – 0,73...0,74 роки.

СПИСОК ОСНОВНИХ РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових та іноземних виданнях:

1. Шиян П.Л. Дослідження руху органічних домішок спирту по розгінній колонії, яка працює під тиском нижчим за атмосферний / П. Л. Шиян, Я. А. Боярчук // *Ukrainian Food Journal*. – 2012. – №3. – С. 12 – 15.
2. Boiarchuk I. The raw starch digestion resource-saving technology / Boiarchuk I. // *Fundamental and Applied Studies in the Modern World*. – 2015. – Р. 261 – 274.
3. Розробка способу використання кислотостійких ферментних препаратів селективної дії // П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Куц А.М., Я.А. Боярчук // *Восточно-Европейской журнал передовых технологий*. – 2015. – № 4/6 (76). – С. 38 – 44.
4. Шиян П.Л. Синтез летких органічних домішок спирту при переробці зернової сировини // П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Я.А. Боярчук // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – №5/4 (25). – С. 4 – 8.
5. Використання фільтрату барди при приготуванні зернових замісів / П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Я.А. Боярчук, В.В. Сосницький // *Харчова промисловість*. – 2015. – №17. – С. 97 – 101.
6. Енергозберігаюча технологія спиртової бражки / Я.А.Боярчук, П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, А.М. Куц. // *Наукові праці НУХТ*. – 2016. – №22. – С. 225 – 232.

Патенти:

7. Пат. на корисну модель 103235 Україна, МПК C12P 3/00 C12F 3/00 (2015.01). Спосіб виробництва спиртових бражок з крохмалевмісної сировини / Українець А.І., Шиян П.Л., Мудрак Т.О., Боярчук Я.А.: власн. НУХТ. – № u 2015 05198; заявл. 27.05.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. №23.

Тези та матеріали конференцій:

8. Боярчук Я.А. Дослідження руху органічних домішок спирту по колонах брагоректифікаційної установки при роботі під розрідженням / Я.А. Боярчук, П.Л. Шиян, Р.Г. Кириленко // *Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали 78-ої міжнар. наук. конф. молодих вчених і студ., 2-3 квітня 2012 р.* – К.: НУХТ, 2012 р. – Ч. 1. – С. 199 – 200.
9. Боярчук Я.А. Дослідження впливу додаткового джерела азоту на зброджування висококонцентрованого сусла у виробництві біопалива / Я.А. Боярчук, П.Л. Шиян, Р.Г. Кириленко // *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали 79-ої міжнар. наук. конф. молодих вчених і студ., 15 – 16 квітня 2013 р.* – К.: НУХТ, 2013 р. – Ч. 1. – С. 309 – 310.
10. Использование фильтрата барды в технологии спирта / Т.О. Мудрак, Р.Г. Кириленко, Я.А. Боярчук, С.С. Ковальчук // *Хранительна наука, техника и технологии*, 18-19 октовмри 2013 р. – Пловдив: УХТ, 2013 р. – Том LX, св. 1. – С. 777 – 780.

11. Боярчук Я.А. Використання фільтрату барди в технології підготовки крохмалевмісної сировини до зброджування / Я.А. Боярчук, Р.Г. Кириленко, П.Л. Шиян // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали 80-ої міжнар. наук. конф. молодих вчених і студ., 10 – 11 квітня 2014 р. – К.: НУХТ, 2014 р. – Ч.1. – С. 363 – 364.

12. Шиян П.Л. Влияние температуры и pH на гидролиз биополимеров зерновых замесов при использовании кислотостойких ферментных препаратов в спиртовом производстве / П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Я.А. Боярчук // Сборник научных трудов по материалам VII Международного научно практического симпозиума «Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов». – М.: ВНИИПБТ, 2014. – С. 220 – 229.

13. Зброджування сусла із крохмалевмісної сировини з використанням фільтрату барди / П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Я.А. Боярчук, О.О. Андрющенко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали 81-ої міжнар. наук. конф. молодих вчених і студ., 23-24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015 р. – Ч.1. – С. 221 – 222.

14. Шиян П.Л. Использование фильтра барды при сбраживание сусла с крахмалсодержащего сырья // П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Я.А. Боярчук // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений [Текст]: матер. V Междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2015. – С. 233 – 236.

15. Шиян П.Л. Інноваційна технологія етилового спирту з крохмалевмісної сировини / П.Л. Шиян, Т.О. Мудрак, Я.А. Боярчук // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали 82-ої міжнар. наук. конф. молодих вчених і студ., 13-14 квітня 2016 р. – К.: НУХТ, 2016 р. – Ч.1. – С. 242.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку і теоретичний аналіз джерел інформації [1-6, 8-11, 13-15], підготовка об'єктів дослідження, проведення експериментів та обробка одержаних результатів [1, 2-6, 8-12, 14, 15], підготовка та оформлення матеріалів до публікації [1-15].

Основні результати досліджень повністю відображені в наведених публікаціях.

АНОТАЦІЯ

Боярчук Я.А. Інноваційна технологія виробництва спирту з крохмалевмісної сировини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.05 – технологія цукристих речовин та продуктів бродіння. – Національний університет харчових технологій МОН України, Київ, 2016.

Дисертація присвячена удосконаленню технології виробництва спирту з крохмалевмісної сировини.

В дисертації було досліджено вплив технологічних показників: температури термоферментативної обробки, pH замісу, концентрації кислотостійких ферментних препаратів, сухих речовин сусли, кількості та кратності використання фільтрату

барди, температури бродіння на показники дозрілої бражки та на синтез летких домішок спирту. Встановлено можливість п'ятикратного використання фільтрату барди на стадії приготування замісу. Досліджений рух органічних домішок по колонах брагоректифікаційної установки, які працюють під тиском нижчим за атмосферний. В роботі були визначені оптимальні параметри приготування та збродження сусла та стабільна робота брагоректифікаційної установки з додатковими колонами.

Для визначення кількості фільтрату барди залежно від параметрів технологічного процесу було виведено лінійне рівняння регресії за допомогою програми Microsoft Excel та лінійне рівняння регресія витрати грючої пари в залежності від концентрації спирту в бражці та тиску у бражній колоні.

Ключові слова: сухі речовини, температура, кислотостійкі ферментні препарати, фільтрат барди, зброджування, рух домішок, якість ректифікованого спирту.

АННОТАЦИЯ

Боярчук Я.А. Инновационная технология производства спирта с крахмалсодержащего сырья. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.05 – технология сахаристых веществ и продуктов брожения. – Национальный университет пищевых технологий МОН Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологии производства спирта с крахмалсодержащего сырья.

На сегодняшний день для спиртовой промышленности Украины первоочередной задачей является увеличение экспорта этанола в страны Евросоюза. В условиях, когда предложение превышает спрос, особое внимание уделяется рентабельности производства. В связи с производством различных видов товарной продукции, спиртовая отрасль должна обеспечить возможность моделирования качества спирта под условия заказчика. Те предприятия, которые смогут модернизировать производство под евро стандарты, способные не только выжить, но и расстроиться, завоевывая внешние рынки.

Основным уходом спиртовых заводов является послеспиртовая барда. На сегодняшний день фильтрат барды используют на стадии приготовления зернового замеса, что сокращает не только количество фильтрата барды, а также уменьшает общее количество технологической воды на его приготовления. При внесении фильтрата барды на стадии приготовления замеса, снижается его рН, влияет на активность амилолитических ферментных препаратов. Поэтому в работе проводилась разработка способа использования кислотостойкой ферментных препаратов на стадии приготовления замеса.

Установлено, что использование фильтрата барды влияет на технологические показатели зрелой бражки. Определена оптимальная количество и кратность использования фильтрата барды на стадии приготовления замеса. Разработана технологическая схема постадийного гидролиза крахмалсодержащего сырья с рекуперацией тепла.

Актуальность данной работы заключается в том, что для интенсификации процесса ректификации с целью уменьшения удельных энергозатрат как при получении этилового спирта высокого качества, так и в производстве биоэтанола необходимы достоверные сведения о качественном и количественном составе летучих органических примесей спиртовой бражки, поскольку это позволит установить оптимальные параметры работы брагоректификационных установок и установок для получения биоэтанола.

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

Было исследовано движение органических примесей по колоннам брагоректификационной установке, которые работают под давлением ниже атмосферного с целью улучшения качества ректифицированного спирта. В работе были определены оптимальные параметры приготовления и брожения сусла и стабильная работа брагоректификационной установки с дополнительными колоннами.

Задачей процесса брагоректификации является изъятие из бражки всех летучих органических соединений, отделения от спирта сопутствующие примеси в максимально сконцентрированном виде, концентрирования спирта и обеспечения соответствия его физико-химическим показателям при минимальных энергетических затратах.

Для моделирования качественных показателей товарного спирта под требования потребителя, необходимо иметь информацию не только о количественном и качественном составе сопутствующих примесей спирта, но и зоны их максимального концентрирования по брагоректификационной установке.

Исследования проводились на брагоректификационной установке, которая работает в энергосберегающем режиме под давлением ниже атмосферного.

Определено, что для производства ректифицированного спирта пищевого назначения отбор сложных эфиров (изобутилацетат, изоамилацетат) целесообразно отбирать из зон их максимального концентрирования. Изобутилацетат отбирают с конденсатом, который поступает с конденсаторов сепаратора CO_2 и бражной колонны. Изоамилацетат из конденсатора сепаратора CO_2 и с зоны отбора сивушного спирта.

В связи с тем, что основная зона концентрирования *n*-пропанола находится в конденсаторе сепаратора CO_2 и зоне отбора сивушной фракции, целесообразно организовать его отбор при производстве ректифицированного спирта пищевого назначения с конденсатора сепаратора CO_2 и увеличить отбор сивушной фракции.

Для моделирования количества использования фильтрата барды, было выведено линейное уравнение регрессии с помощью программы Microsoft Excel и линейное уравнение регрессии расхода греющего пара в зависимости от концентрации спирта в бражке и давления в бражной колонне.

Ключевые слова: сухие вещества, температура, кислотостойкие ферментные препараты, фильтрат барды, сбраживания, движение примесей, качество ректификованного спирта.

SUMMARY

Boyarchuk Y.A. Innovative Technology Production of Alcohol from Raw Starch. – Manuscript.

Thesis for obtaining the Candidate Degree in Technical Sciences. Specialty 05.18.05 – Technology of Sugar and Fermentation Products. – National University of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis is devoted to the improvement of alcohol technology production from raw materials.

The thesis investigates the influence of technological indicators: temperature liquefaction, pH slurry, acid enzymes concentration, dry matter, the amount and frequency rate agues of thin stillage, fermentation temperature on mature mash indicators as well as on the synthesis of volatile impurities of alcohol. The possibility of using of five times thin stillage at the stage of mixture preparation has been found out. The organic impurities movement by columns of the distillery installation, operating under pressure lower than atmospheric has been studied to improve the quality of rectified alcohol. The paper has identified the optimal parameters of preparation and fermentation of wort and stable operation of distillery installation with additional columns.

To simulate the amount of thin stillage depending upon the technological parameters the linear regression equation due to Microsoft Excel has been derived as well as the heating costs depending on the alcohol concentration in mash and pressure in the mash column have been defined.

Key words: dry matter, temperature, acid enzymes, thin stillage, digestion, movement of impurities, quality of rectified alcohol.

Підп. до друку 25.03.2016. Наклад 130 пр. Зам. № 6-15
НУХТ. 01601, Київ-33, вул. Володимирська, 68
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.