

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

На правах рукопису

**МЕЛЬНИЧУК Павло Петрович**

УДК 663.551/088.8/

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГО- ТА  
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
РЕКТИФІКАЦІЇ  
В СПИРТОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Спеціальність 05.18.07 —  
Технологія продуктів бродіння

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ — 1996

AB 33.516

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному університеті харчових технологій.

Науковий керівник — доктор технічних наук професор П.Л.Шиян

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор В.М.Таран,  
кандидат технічних наук, доцент О.О.Осипенко

Провідна організація: концерн «Укрспирт» Держхарчопрому України

Захист відбудеться « 02 » листопада 1996 р. о  
14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої Ради 01.15.05 при  
Українському державному університеті харчових технологій за адресою:  
252033, м.Київ-33, вул.Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці УДУХТ.

Автореферат розіслано « 30 » 08 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої Ради,  
кандидат технічних наук, доцент

А.М.Куц

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00759977 (1)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність роботи

Одним з основних споживачів сировинних і енергетичних ресурсів в Агропромислового комплексі України є спиртова промисловість. Значний ріст виробництва ректифікованого спирту в останні роки потребує удосконалення процесу брагоректифікації — одного з найбільших ресурсо- та енергоємких в спиртовому виробництві.

Резервом зниження енергоємкості брагоректифікації є рекуперативне використання теплоти відходячих з брагоректифікаційної установки (БРУ) матеріальних потоків, з якими втрачається до 90% підведеної теплової енергії.

Поряд з енергозбереженням актуальною задачею є удосконалення і широке впровадження технологій, передбачаючих більш глибоку і комплексну переробку сировини, скорочення її втрат з відходами виробництва. Впровадження ресурсозберігаючих технологій дозволяє знизити не тільки матеріаломісткість суспільного виробництва, але і зменшити витрати енергії на одиницю товарної продукції.

Активна енерго- та ресурсозберігаюча політика в значній мірі гальмується відсутністю сучасних технологій устаткування.

В зв'язку з чим удосконалення енерго- та ресурсозберігаючої технології та техніки ректифікації для спиртової промисловості є актуальною науково-технічною проблемою.

Вирішення питання інтенсивного енерго- та ресурсозбереження значною мірою допоможе розв'язати екологічну проблему, тісно пов'язану з викидами відходів виробництва в навколишнє середовище.

### Мета роботи

Наукове обґрунтування, розробка і удосконалення енерго- та ресурсозберігаючої технології і техніки ректифікації в спиртовій промисловості.

### Наукова новизна

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень визначено шляхи подальшої енергетичної модернізації брагоректифікаційних установок.

Отримано рівняння для визначення ексергетичного і корисного ексергетичного коефіцієнтів, з допомогою яких проведено термодинамічну оцінку різних типів БРУ.

Запропоновано метод оцінки енергетичної економічності турбо- та термокомпресійних установок в процесі утилізації теплоти відходячих з БРУ рідинних потоків.

Проведено теоретичні і експериментальні дослідження, спрямовані на удосконалення технології видобування етилового спирту з відходів ректифікації в умовах спиртозаводів.

Досліджено поведінку легких домішок спирту в процесі брагоректифікації і уточнено зони їх максимального накопичення при включенні розгонних колон в систему БРУ.

Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність застосування помірної гідроселекції для ефективного виділення етилового спирту з метанолмісткої головної фракції.

Установлено оптимальні режими фракційної ректифікації концентрату головної фракції (КГФ).

Отримано патент України та рішення на видачу патенту України.

#### Практична цінність

Розроблені БРУ з елементами енергозбереження, передбачаючи рекуперацію теплоти сивушної фракції, догрів флегми колон до температури кипіння відходячою теплою барди ілютерної води, двохступінчасте концентрування спирту спочатку в бражній, а потім в спиртовій колонах.

Розроблено енергозберігаючі БРУ з замкнутою системою утилізації теплоти відходячих матеріальних потоків за допомогою теплових насосів.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень, узагальнення виробничого досвіду удосконалено:

— технологію видобування етилового спирту з спиртомістких відходів ректифікації в умовах спиртозаводів;

— ресурсозберігаючу технологію ректифікації мелясних бражок з підвищеним вмістом головних домішок;

— технологію сумісної переробки головної фракції мелясних і зернокартопельних бражок в системі БРУ;

— технологію видобування спирту з метанолмісткої головної фракції;

— технологію і техніку комплексної утилізації концентрату головної фракції.

Установлено оптимальні технологічні параметри сумісної переробки головної і сивушної фракції в процесі брагоректифікації.

#### Реалізація результатів досліджень

Результати досліджень впроваджені на Андрушівському, Барському, Намівському спиртових заводах та Бучацькому мальтозному заводі.

По результатах досліджень видані технічні завдання Сумському машинобудівному науково-виробничому об'єднанню ім.М.В.Фрунзе на розробку елементів енерго- та ресурсозбереження для брагоректифікаційних установок.

Загальний реальний економічний ефект від впровадження результатів дослідження у виробництво за період з 1991 по 1 кв. 1996 року становив 3 мільярди 266 мільйонів карбованців без урахування індексу інфляції.

#### Апробація робіт

Дисертаційну роботу розглянуто на засіданні кафедри біотехнології продуктів бродіння екстрактів і напоїв УДУХТ і рекомендовано до захисту.

Основні результати, одержані під час виконання роботи, доповідались і обговорювались на: Міжнародній конференції по розробці та впровадженню нових технологій і устаткування в харчову та переробну галузі (м.Київ, 1993); 3-ій Всесоюзній науковій конференції по проблемах енергетики, М., МЕІ, 1991 р.; VI Всесоюзній конференції по теорії і практиці ректифікації, ІОНХ АН СРСР, 1991 р.; секції спиртової та лікеро-горілчаної промисловості Концерну «Укрспирт», а також на науково-технічних радах спиртових заводів та об'єднань.

Тематика досліджень входила в план науково-дослідних робіт УДУХ 1992-1996 рр., номери реєстрацій: 312/92, 318/94.

#### Публікації

За темою дисертації отримано один патент України, рішення на видачу патента України та опубліковано 8 друкованих праць.

Структура та обсяг дисертації

Дисертація складається зі вступу, 4 глав, заключення, списку літератури (111 найменувань, в тому числі 41 іноземних) та додатків, написаних на 153 сторінках машинописного тексту, без додатків має 39 рисунків, 7 таблиць.

### Зміст роботи

У вступі обгрунтовано актуальність теми, сформульовано основну мету роботи, намічено основні шляхи рішення поставлених задач, наведено відомості про об'єми впровадження результатів досліджень у виробництво і отриманий економічний ефект.

В першій главі (літературний огляд) розглянуто становище і перспективи розвитку енерго- та ресурсозбереження в технологічних процесах.

Наведено аналіз споживання теплової енергії різноманітними галузями харчової промисловості.

Харчова промисловість України відрізняється виключно високою енергоемкістю при досить низькому рівні корисного використання паливно-енергетичних ресурсів. У суспільному виробництві України харчова промисловість має великий резерв енергозбереження, однак активна енергозберігаюча політика гальмується значною мірою відсутністю відповідних технологій та устаткування.

В цій главі проведено аналіз сучасних засобів енергозбереження в промисловорозвинутих державах, доведено, що резерви рекуперативного (екстенсивного) енергозбереження практично повністю вичерпані.

Розглянута концепція інтенсивного енергозбереження процесу брагоректифікації, яка повинна складатись із слідуєчих етапів: 1 — визначення загальної енергоемкості виробництва кінцевого продукту; 2 — діагноз якості енерго-матеріаловикористання; 3 — прогноз потенціалу інтенсивного енергозбереження; 4 — розробка принципів основ технічної реалізації заходів інтенсивного енергозбереження; 5 — розробка моделі об'єктів і визначення технічно можливої економії паливно-енергетичних ресурсів; 6 — стан і перспективи покращення економічної обстановки; 7 — розроблено плани послідовної реалізації рекуперативного і інтенсивного енергозбереження.

Основним резервом інтенсивного енергозбереження є вторинні джерела енергії і маловідходні технологічні процеси.

Резервом підвищення виходу товарної продукції з одиниці сировини в умовах спиртозаводів є максимальне вилучення етилового спирту і спиртомістких відходів ректифікації.

У розділі обгрунтовано доцільність удосконалення технології вилучення етилового спирту із різних по складу і походженню відходів ректифікації в умовах спиртових заводів та технологія утилізації концентрату головної фракції.

Вирішенню цих проблем присвячено наступні розділи дисертації.

У другій главі теоретично обгрунтовані і накреслені шляхи подальшого енергетичного удосконалення брагоректифікаційних установок з метою виявлення найбільш оптимальних з енергетичної точки зору БРУ і визначення шляхів їх подальшого енергетичного удосконалення, був використаний ексергетичний метод аналізу.

Ступінь досконалості енергетичної системи залежить від розміру ексергетичних витрат, аналіз яких був відправним пунктом термодинамічної модернізації ректифікаційних установок.

Автором, разом із проф. Шияном П. Л., запропоновані рівняння для визначення ексергетичного коефіцієнту  $\varrho$  характеризуючого внутрішні витрати ексергії і корисного ексергетичного коефіцієнту  $\varrho^*$ , характеризуючого використання вторинної ексергії.

$$\varrho_e = \frac{\sum_I^m \sum_I^n E' - \sum_I^m \sum_I^n D}{\sum_I^m \sum_I^n E'} \cdot 100\% , \quad \varrho_e^* = \frac{\sum_I^m \sum_I^n E^*}{\sum_I^m \sum_I^n E''} \cdot 100\%$$

Де  $E^I$  і  $E^{II}$  — вхідні та вихідні потоки ексергії, кДж;

D — витрати ексергії, кДж;

$E^*$  — потік вторинно використаної ексергії, кДж;

m — число ексергетичних складників;

n — число контрольних поверхностей системи.

В таблиці 1 наведено термодинамічні характеристики основних схем брагоректифікаційних установок, отримані на основі їх структурного ексергетичного аналізу.

Таблиця 1.  
ТЕРМОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНИХ ТИПІВ БРУ

№ пп	Термодинамічні показники	Позначки	БРУКД	БРУКПД	БРУПД	БРУВАК-2
1.	Ексергетичний коефіцієнт	$\varrho_e$	49,26	62,00	76,15	53,69
2.	Корисний ексергетичний коефіцієнт	$\varrho_e^*$	41,30	51,63	71,48	63,02
3.	Внутрішні втрати ексергії, %	$\Sigma D$	50,74	37,98	23,85	46,31
4.	Зовнішні втрати ексергії, %	$\Sigma D_e$	49,70	48,37	28,52	46,31
5.	Витрати на 1 дал - первинної ексергії, % - вторинної ексергії, %	$\Sigma E_{пр}$ $\Sigma E_{вр}$	87,84 12,16	75,27 24,73	52,04 47,96	66,69 33,31
6.	Витрати пари, кг/дал	$P$	52,83	49,31	38,30	31,15
7.	Витрати електроенергії, кВт/дал	$N$	-	-	-	0,15

З термодинамічної точки зору менш досконала брагоректифікаційна установка непрямої дії (БРУНД), ексергетичний і корисний ексергетичний коефіцієнти якої дорівнюють 49,26 та 41,30% відповідно при цьому рекуперується тільки 12,16% вторинної ексергії від всієї витраченої на процес ексергії.

Установки непрямої — прямої дії (БРУНПД) і прямої дії (БРУПД)

термодинамічно більш досконалі, особливо це стосується БРУПД, у якій ексергетичний коефіцієнт досягає 76,15%, а використання вторинної ексергії по відношенню до витраченої — 47,90%. Не дивлячись на це, втрати грючої пари залишаються значними — 38,3 кг/дал спирту. Викликано це тим, що ексергії пари бражного дистиляту недостатньо для здійснення процесу розподілу в епіюраційній і спиртовій колоні. Її нестача відшкодовується додатковою (біля 50% від усього необхідного) витратою грючої пари, ексергія якої транзитом проходить повз бражну колону.

Як визначив структурний ексергетичний аналіз, ексергетичний коефіцієнт БРУВАК-2 нижче, ніж у брагоректифікаційних установках прямої і напистої прямої дії. Визвано це тим, що в установку впроваджено додаткову кількість теплообмінної апаратури, що призводить до збільшення витрат ексергії із-за кінцевої різниці температур.

Збільшення різниці між внутрішнім і зовнішнім тисками в епіюраційній і ректифікаційній колонах призводить до росту витрат ексергії на процес розділення суміші, тобто до збільшення втрат від необоротності теплома-собміну. Ці втрати складають 30,25% в епіюраційній і 33,27% в ректифікаційній колонах від ексергії, що вводиться в них. В порівнянні з аналогічними колонами БРУНД: 21,4% і 21,76% відповідно.

Крім того, 13,4% ексергії, що вводиться в установку, втрачається в паровому інжекторі. В результаті внутрішні збитки БРУВАК-2 збільшуються по відношенню до БРУПД на 22,46% і складають 46,31%. Однак, зміна корінним чином структури зв'язків у системі БРУВАК-2 дозволила знизити загальні втрати пари на процес до 31,15 кг/дал спирту. Використання вторинної ексергії в БРУВАК-2 складає 33,31% по відношенню до витраченої, що вказує на можливість подальшого удосконалення установки за рахунок зниження зовнішніх витрат ексергії.

Проведений ексергетичний аналіз БРУ дозволив зробити наступні висновки:

— з точки зору другого закону термодинаміки БРУПД є найбільш удосконаленою серед установок, що працюють при тиску, близькому до атмосферного, однак особливість її структурних зв'язків не дозволяє знизити витрати грючої пари більше, ніж на 27,5%.

З економічної точки зору ця установка також найкраща, тому що відрізняється найменшими зовнішніми витратами ексергії, що в значній мірі визначають забруднення зовнішнього середовища:

— зниження термодинамічного удосконалення БРУ відбувається переважно не тільки за рахунок втрати ексергії, але й за рахунок зниження її якості (концентрації). Збільшення цієї якості можливо за допомогою теплового насоса і механічної рекомпресії пари;

— наявність великої різниці температур і тисків призводить до збільшення внутрішніх витрат ексергії в колонах і зниження термодинамічного удосконалення БРУ;

— використання вторинної ексергії у вакуумних БРУ складає біля 30% по відношенню до витраченої, що вказує на можливість їх подальшої енергетичної модернізації за рахунок зниження зовнішніх витрат ексергії;

— суттєво впливати на скорочення внутрішніх витрат ексергії такої складної термодинамічної системи, як БРУ, вельми важко, їх подальше удосконалення

можливе за рахунок зниження зовнішніх витрат зі зміною структурних зв'язків в системі і використання теплонасосних установок;

— створення вакууму в колонах і збільшення теплообмінної апаратури призводить до росту внутрішніх витрат ексергії в системі, тому перспективним є механічна рекомпресія пари самовипарювання барди, дефлегматорної і лютерної води, а також водно-спиртової пари;

— потоки ексергії, які виходять з установки, відмінної від нуля, повинні розглядатися, як вторинні енергоресурси.

Як виявили розрахунки, біля 27% теплоти, підведеної в БРУ, втрачається з бардою і лютерною водою. Утилізація цієї теплоти можлива за рахунок компрімування вторинної пари барди і лютерної води. Для цього можуть бути використані як термо-, так і турбокомпресійні установки з тепловими насосами відкритого циклу.

При проектуванні теплонасосних установок необхідно оцінювати їх ефективність. Поряд з економічним критерієм, розрахунок ефективності теплоспоживних установок необхідно доповнювати розрахунками термодинамічної ефективності з зіставленням отриманої від об'єкту енергії і енергії, що витрачається на її утворення.

Вирішення питання вибору типу компресору вимагає використання ексергетичного методу.

Автором запропоновано рівняння рівної енергетичної економічності термо- та турбокомпресійних трансформаторів теплоти.

$$\frac{M_{\text{еж}}}{M_{\text{к}}} = \frac{B_{\text{т}}}{A \cdot B_{\text{ел}}}$$

Де  $M_{\text{еж}}$  і  $M_{\text{к}}$  — коефіцієнти трансформації теплоти термо- та турбокомпресорів відповідно;

$B_{\text{т}}$  — питома витрата умовного палива на одиницю випускаємої теплоти, кг/кДж;

$B_{\text{ел}}$  — питома витрата умовного палива в енергосистемі на одиницю випускаємої теплоти, кг/кВт г;

$A$  — розмірний коефіцієнт = 278 кВт.г/ГДж.

Коли ліва частина рівняння більша за праву, енергетично вигідніша термокомпресія і навпаки.

На рис. 1 приведені лінії різної енергетичної економічності термо- і турбокомпресійних трансформаторів теплоти при використанні пари від котельної до ТЕЦ при різних параметрах пари у відборах турбін.

У прямокутних координатах  $M_{\text{еж}} - M_{\text{к}}$  граничні лінії рівної енергетичної економічності будуть прямі, які виходять з початку координат, кутівий коефіцієнт  $M_{\text{еж}}/M_{\text{к}}$  залежить від виду джерела і параметрів відпрацьованої теплоти.

Над граничними лініями знаходиться область Є більш високої енергетичної економічності термокомпресії, нижче цих ліній знаходяться область К більш високої енергетичної економічності електровикористовуючого турбокомпресійного трансформатора теплоти.

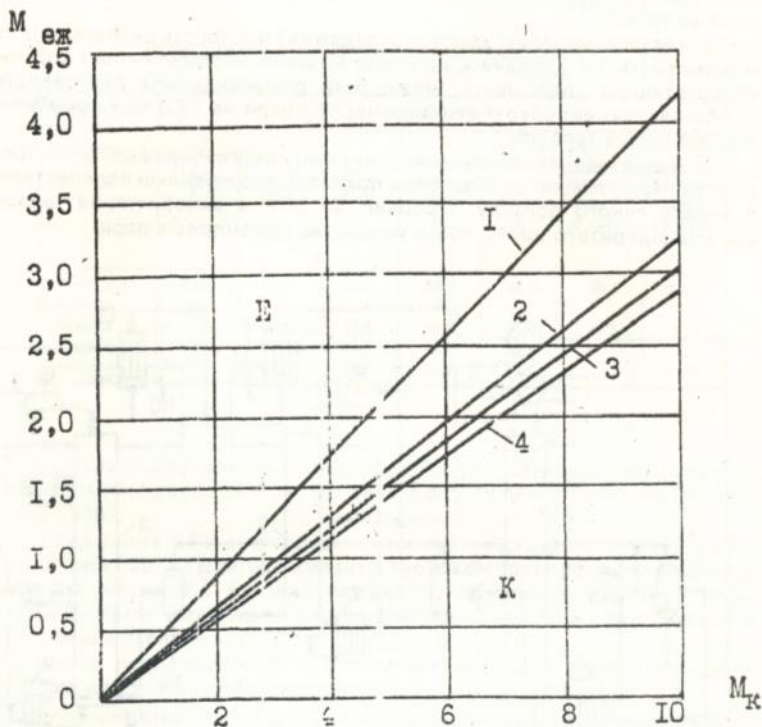


Рис. 1 Графік рівної ексергетичної економічності термо- і турбокомпресійних установок.

1 — теплопостачання від котельної; 2—4 — теплопостачання від ТЕЦ при тисках пари у відборах турбин: 2 — 0,8 МПа; 3 — 1,0 МПа; 4 — 1,25 МПа.

З графіка видно, що використання турбокомпресії для утилізації теплоти, відходячої барди і лютерної води при теплопостачанні від котельної у всіх випадках енергетично більше економічно, так як  $M_{еж}/M_{к} < V_T/A \cdot V_{ел}$  і  $M_{к}$  для всіх значень  $M_{еж}$  лежить в зоні високої енергетичної економічності турбокомпресії і тільки при використанні пари з відбору

після турбін енергетична економічність термо- і турбокомпресії наближається одна до одної.

Враховуючи невеликі капіталовкладення і надійність експлуатації, термокомпресія, не дивлячись на більш низький ексергетичний і корисний ексергетичний коефіцієнти, може бути рекомендована для заводів з комбінованою виробкою електроенергії і пари на ТЕЦ при проміжному відборі пари в турбінах.

У третій главі приведено перспективні енергозберігаючі БРУ. Проведені термодинамічні дослідження показали, що найбільш перспективним з енергетичного погляду, стосовно до БРУ, є використання теплових насосів відкритого циклу, тобто механічна рекомпресія пари.

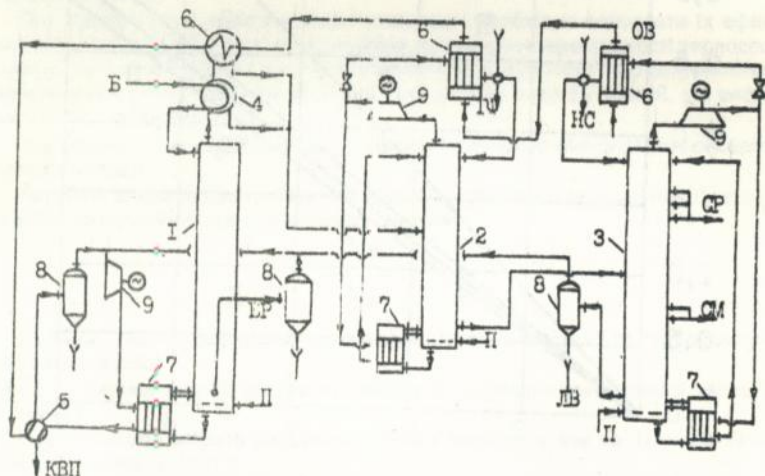


Рис. 2 Апаратурно-технологічна схема Брагоректифікаційна установка з механічною рекомпресією пари (БРУМРП).

Колони: 1 — бражна; 2 — етиловій; 3 — спиртова; 4 — підігрівач бражки; 5 — підігрівач дефлегматорної води; 6 — дефлегматор; 7 — кип'ятильник; 8 — випарна камера; 9 — турбокомпресор.

На рис. 2 наведено схему брагоректифікаційної установки з механічною рекомпресією водно-спиртової пари і вторинної пари відхідних рідинних потоків — БРУМРП. Результати ексергетичного аналізу наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

## ТЕРМОДИНАМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БРУМРП

№ пп	Брагсрєктифікаційні установкї	ПОКАЗНИКИ						
		$\zeta_e$	$\zeta_e^*$	$\Sigma \Delta$	ЗАТРАТИ			
					пєрвинної ексєргїї %	вторинної ексєргїї %	грїєчої пари кг/дал	електроенєргїї, кВт/дал
5	БРУМРП	65,4	77,1	34,8	50,7	49,3	10,6	5,92
	колони:							
	- бражна	72,4	63,0	27,6	41,6	58,4	10,6	1,54
	- епїюраційна	93,8	95,1	41,1	41,7	58,4	-	1,24
	- спиртова	60,9	89,0	39,1	45,9	54,1	-	3,14

Результати ексєргєтичного аналізу БРУМРП свїдчать про високу її термодинамїчну досконалїсть, що дало пїдставу для отримання Патєнту України №907.

Впровадження БРУ з тепловими насосами вїдкритого циклу на водно-спиртовїй парї потребує вживання турбокомпрєсора, який виключає попадання мастила в готовий продукт і забезпечує надїйну герметичнїсть системи. Використання як робоче тїло водяної пари, дозволяє запобїгти цих ускладнєнь.

На рис. 3 представлено БРУ з тепловим насосом, як робоче тїло якого використовуєтьєся пара дефлєгматорної води.

Таке рїшення дозволяє утилізувати теплоту дефлєгматорної води, яка виводитьєся з установкї, використовувати її вдругє в процесї ректифікації і тим самим знизити на 28...30% витрати грїєчої пари. Додатковї витрати електроенєргїї на привїд компрєсора складають 1,28 кВт/дал. Ексєргєтичний і корисний ексєргєтичний коефїциєнти дорївнюють 52,7 і 61,9% вїдповїдно, рекуперативне використання вторинної ексєргїї складає 44,8%.

З екологїчної точки зору ці установкї також найбїльш переважають, так як вїдрїзняютьєся найменшими зовнїшніми витратами, якї в значнїй мїрї визначають забруднення зовнїшнього середовища.

Роботи, що проводятьєся в УДУХТ, дають можливїсть швидше впровадити теплові насоси вїдкритого циклу в спиртове виробництво.

Четверта глава дисертации присвячена удосконаленню технологїї видїлення етилового спирту з спиртомїстких вїдходїв ректифікації в умовах спиртозаводїв.

З вїходами ректифікації в Україні втрачаєтьєся бїля 1,8 млн. дал етилового спирту, для виробництва якого витрачаєтьєся бїльше 50000 тонн зерна. Для вилучення етанолу з головної фракції етилового спирту в умовах спиртозаводїв, в УДУХТ пїд керївництвом профєсорє П.С.Циганкова, розроблено

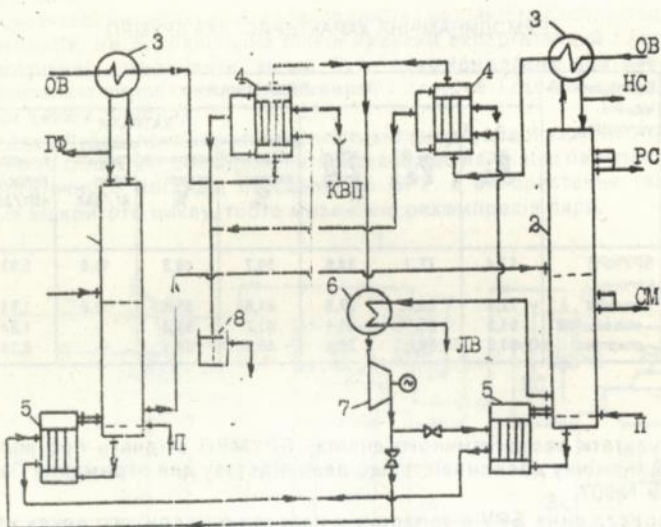


Рис. 3. Апаратурно-технологічна схема. Брагоректифікаційна установка з тепловим насосом на дефлегматорній воді.

- 1 — епісраційна колона; 2 — спиртова колона; 3 — дефлегматор; 4 — випарювач; 5 — кип'ятильник; 6 — підігрівач пари; 7 — турбокомпресор; 8 — барометричний збирач.

технологію, яка передбачає включення в систему БРУ додаткової розгонної колони.

Схема включення розгонної колони в систему БРУ потребує врахування багатьох факторів і в першу чергу походження і якісний склад переробної сировини.

З метою розробки оптимальної технології витягання етилового спирту з спиртмістких відходів різноманітного походження і складу на Андрушівському спиртокомбінаті було спроектовано і змонтовано дослідно-промислому установку, представлену на рис.4.

Установка наділена необхідною контрольно-вимірювальною апаратурою і автоматикою.

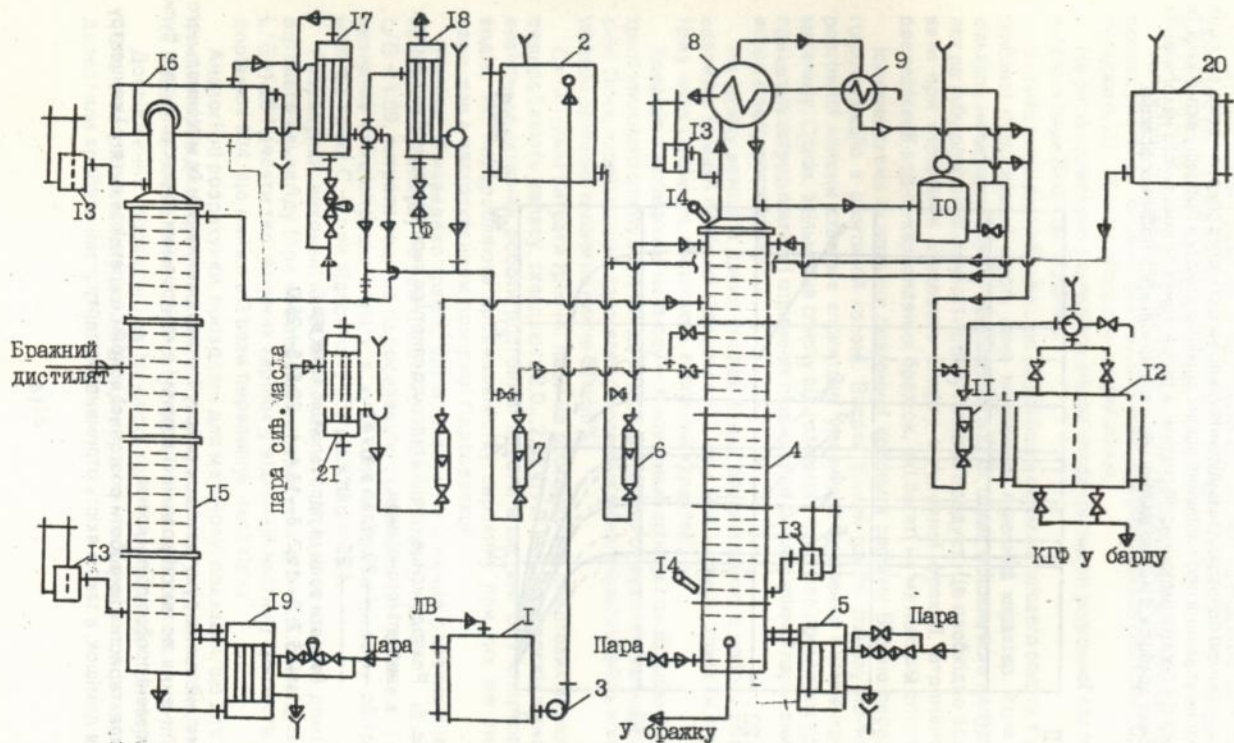


Рис. 4. Принципова апаратурно-технологічна схема включення розгінної колони в систему брагоректифікаційної установки.

Теоретичною основою для виділення етилового спирту з спиртмістких відходів правильне уявлення про виділення різних домішок спирту в процесі ректифікації, їх летючості в багатокомпонентній системі, а також зонах оптимального накопичення ключових домішок з метою виводу мінімальної кількості побічних фракцій.

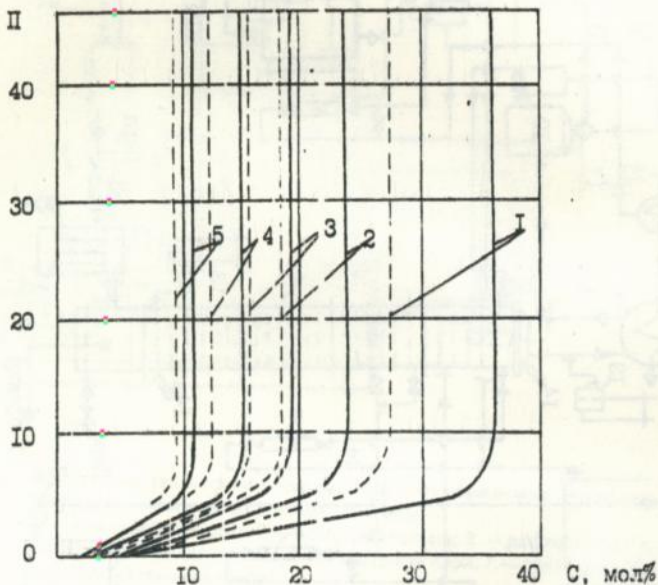


Рис. 5. Розподіл концентрації етилового спирту по висоті розгонної колони при витраті грійочої пари:

— 20 кг/дал а.а. та

--- 25 кг/дал а.а.

Витрати води та гідроселекцію /кг/кг а.а./:

1—5,7; 2—11,7; 3—13,4; 4—20,5; 5—26,0

Для вивчення руху домішок спирту і знаходження зон їх максимального накопичення по висоті розгонної колони і в контрольних точках установок були встановлені пробовідбірні крани.

Характеристикою роботи розгонної колони є кратність витягу і концентрування домішок, а також якість отриманого спирту.

Кратність витягу домішок в розгонній колоні при постійному числі тарілок залежить від співвідношення рідинного і парового потоків  $L/G$  і концентрації етилового спирту по тарілках колони.

Проведені дослідження показали, що оптимальні витрати грючої пари на процес розгонки головної фракції, отримані при ректифікації мелясних бражок, складають 20...25 кг/кг абсолютного алкоголю.

На рис.5 приведено розподіл домішок спирту по висоті розгонної колони при витратах пари 20 кг/дал і  $L/G=7,5$ .

З приведених даних бачимо, що всі домішки, окрім метилового спирту, в умовах глибокої гідроселекції мають ясно виражений головний характер. Хоча деяка кількість метилового спирту і виводиться з КГФ, однак основна його маса потрапляє до кубу розгонної колони і потім у готовий продукт. Це необхідно враховувати при отриманні етилового спирту з головної фракції, отриманої при ректифікації зерно-картопляних бражок, які багаті на метиловий спирт.

Існуюча схема включення розгонної колони в систему БРУ не передбачає гідроселекцію в розгонній колоні. Висока концентрація етанолу по тарілках розгонної колони створює сприятливі умови для виділення і концентрування метанолу. Однак, звільнення спирту від головних і особливо проміжних домішок при цьому затруднюється і спричиняє підвищення витрати грючої пари і зниження якості спирту-ректифікату.

На думку автора в даних умовах більш раціональною є робота розгонної колони в режимі помірної гідроселекції, при якій ключові домішки спирту, в тому числі і метанол, зберігають головний характер.

Коефіцієнт ректифікації метанолу —  $K$  інтенсивно зростає при збільшенні концентрації етилового спирту в розчині до 60 мол.%, після чого практично залишається без змін. Отже, подача води на гідроселекцію повинна забезпечувати міцність етанолу по тарілках розгонної колони не нижче 60 мол. %.

Оптимальні витрати грючої пари на розгонку ГФ спиртових заводів, які переробляють мелясу, складають 2,0...2,56 кг/кг а.а. Було досліджено можливість ефективної роботи розгонної колони в системі БРУ спиртових заводів, які переробляють крохмальмістку сировину при тих же витратах пари, але з застосуванням помірної гідроселекції.

На рис. 6 наведено графік, що проказує положення робочих ліній при концентрації спирту по всій висоті колони — 60 мас. % при  $R =$ , при цьому  $L/G = 1,89$ , витрати води на гідроселекцію складають 1,34 кг/кг а.а. Точка В визначає концентрацію спирту в кубі колони при закритому обігріві (47 мол. %), точка С — при відкритому обігріві (23 мол. %).

Розрахунки, виконані на ЕОМ, показують, що для головного домішку — оцтового альдегіду (при коефіцієнті випаровування  $K=3,6$ , співвідношення  $L/G=1,89$  і десяти теоретичних тарілок у відгонній частині) кратність витягу дорівнює 934, що майже в 3 рази перевищує необхідну.

Аналогічні розрахунки, проведені для метанолу, показали, що для досягнення необхідної кратності його витягу при тих же умовах, необхідно мати не менше 14 теоретичних тарілок у відгонній частині колони.

Дослідження, проведені на Наумівському спиртозаводі при переробці ГФ з вмістом метанолу до 3,2% підтвердили наведені вище розрахунки і дозволили зробити наступні висновки.

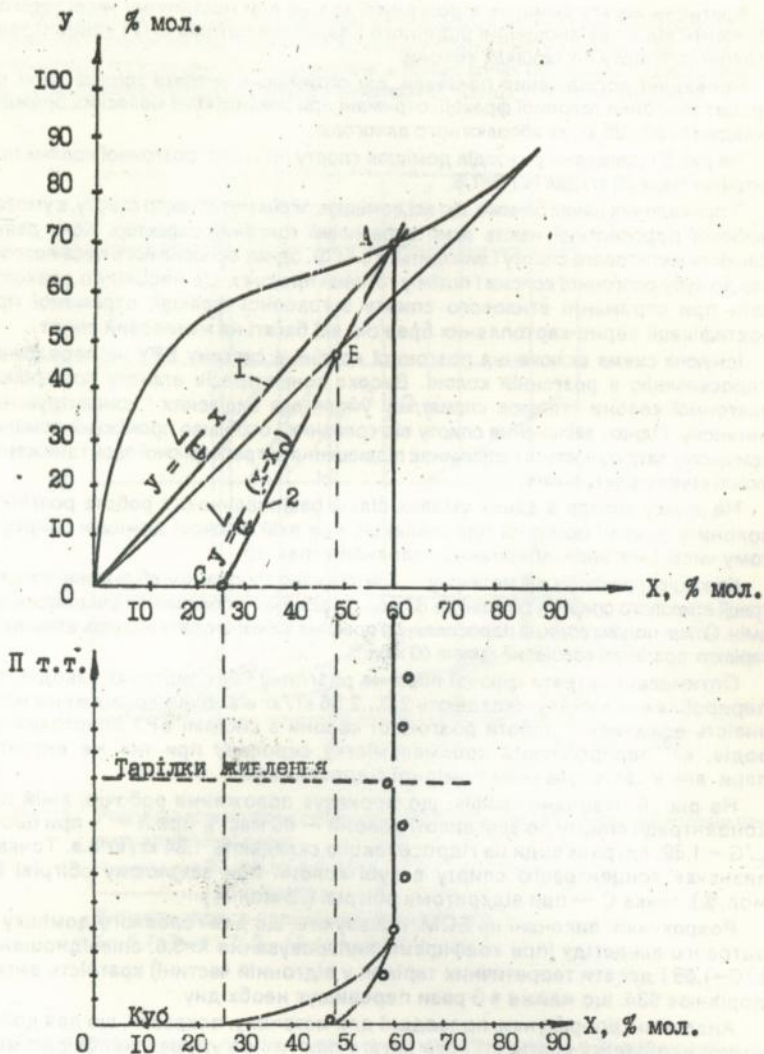


Рис. 6. До розрахунку колони для виділення спирту з головної фракції з підвищеним вмістом метанолу.  
 1 — робоча лінія концентраційної частини; 2 — те ж саме, відгонної частини.

Вживання помірної гідроселекції (витрати води 1,34 кг/кг а.а.) при питомій витраті гріючої пари 2,0 кг/кг а.а. дозволяє ефективно вилучати, поряд з метанолом, і інші ключові домішки головного і проміжного характеру.

Використання помірної гідроселекції в процесі розгонки ГФ зерно-картопельних спиртзаводів, які містять підвищену кількість метанолу, дозволяє скоротити питому витрату гріючої пари в розгонній колоні в середньому на 42%.

При подачі води на верхню тарілку розгонної колоні в кількості 1,34 кг/кг а.а., вміст етилового спирту в концентраті домішок знижується з 70...65% до 53...57 об. %.

На підставі проведених експериментів і теоретичних розрахунків розроблено ресурсозберігаючу БРУ для ректифікації зерно-картопляних бражок (рис. 7).

Для спрощення виділення вищих спиртів у процесі ректифікації розроблено БРУ з виділенням усіх домішок спирту у вигляді одного продукту — сивухо-ефіроальдегідного концентрату. Схемою установки передбачено скидання в розгонну колону спиртвмісних погонів з спиртопасток, конденсаторів бражної епюраційної і спиртової колон, а також усіх сивушних фракцій.

Ведені розрахунки та експерименти показали, що для ефективного виділення вищих спиртів концентрація етанолу по висоті розгонної колони не повинна перевищувати 15,2 мол. %, а відношення L/G 4,6.

Досвід спільної переробки головної та сивушної фракцій на Андрушівському спиртокомбінаті дозволив зробити висновок, що ефективною спільна розгонка головної і сивушної фракцій можлива при збільшенні витрати гріючої пари з 2,56 до 3,59 кг/кг а.а. (на 28,7%) і води з 11,7 до 13,5 кг/кг а.а. (на 13,4%). Незважаючи на збільшення подання гріючої пари в розгонну колону, загальна її витрата на БРУ при виведенні з системи сивушної колони знизилася на 4,8 кг/кг а.а.

Відходом переробки головної фракції етилового спирту є концентрат головної фракції (КГФ), кількість якого по Україні складає більше 1000 т за рік. Не дивлячись на те, що КГФ містить в своєму складі цінні органічні компоненти (етилацетат, ацетальдегід, етанол), до теперішнього часу він широкого використання не знайшов і в більшості випадків спалюється, забруднюючи навколишнє середовище і збільшуючи матеріалоемкість виробництва.

Велика серія лабораторних і виробничих експериментів дозволила оптимізувати технологію отримання товарних продуктів з КГФ.

В основу технології покладена фракційна ректифікація, в результаті якої отримують наступні продукти: етилацетатний розчинник, сирець етилового спирту і концентрат головних домішок, кількість якого не перевищує 0,004% від абсолютного алкоголю бражки. Дана технологія впроваджена на Наумівському спиртзаводі.

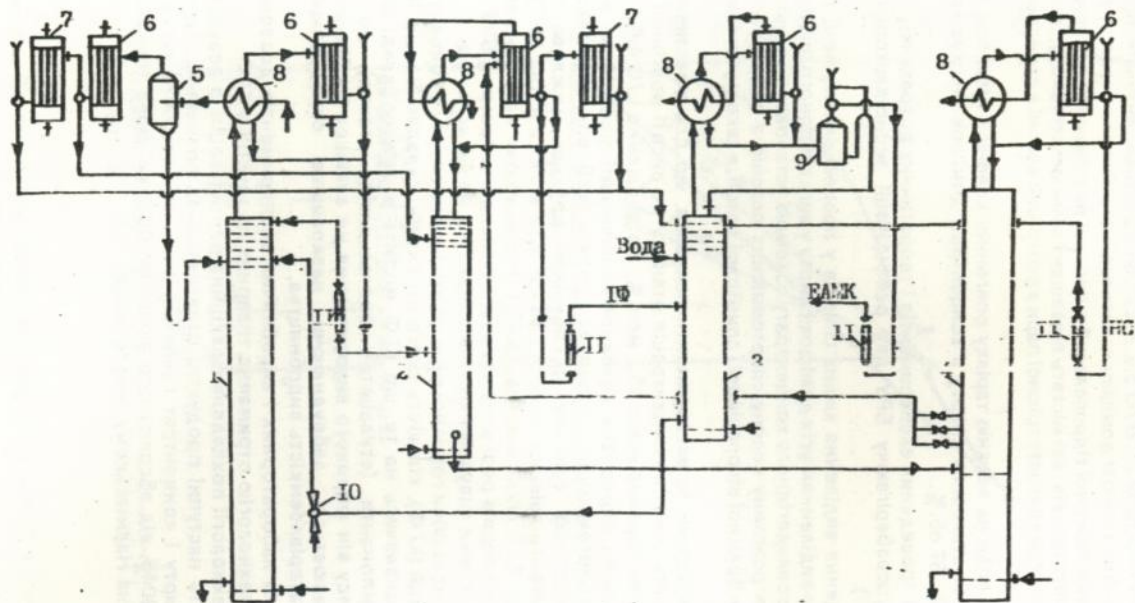


Рис. 7. Апаратурно-технологічна схема. Ресурсозберігаюча БРУ для ректифікації зерно-картопельних бражок.

Колони: 1 — бражка; 2 — епіюраційна; 3 — розгонна; 4 — спиртова; 5 — сепаратор  $\text{CO}_2$ ; 6 — конденсатор; 7 — спиртопастка; 8 — дефлегматор; 9 — декангатор; 10 — ежектор; 11 — ротаметр.

## Заклучення і висновки

Енерго- та ресурсозбереження є ключовою проблемою суспільного виробництва в Україні.

Значний ріст видобутку ректифікованого спирту в останні роки призвів до необхідності в оптимізації процесу брагоректифікації, який є одним з найбільш ресурсо- і енергоємких в спиртовому виробництві.

Резервом зниження енергоємкості процесу брагоректифікації є рекуперативне використання теплоти відходячих з брагоректифікаційної установки матеріальних потоків, з якими втрачається до 90% підведеної теплової енергії.

Основним напрямком зниження матеріалоємкості спиртового виробництва є зменшення спиртомістких відходів за рахунок більш повного їх концентрування по домішках.

Розробка і впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій і устаткування в значній мірі вирішує екологічну проблему, тісно пов'язану з викидами відходів виробництва в навколишнє середовище.

Виконана робота дозволяє зробити наступні висновки.

1. Традиційні (рекуперативні) методи енергозбереження в процесі брагоректифікації практично повністю вичерпані, подальше їх термодинамічне удосконалення знаходиться в області інтенсивного енергозбереження.

2. Використання ексергетичного методу для термодинамічної оцінки брагоректифікаційних установок дозволило встановити найбільш суттєві зони витрат ексергії і виявити причини, які знижують енергетичні характеристики БРУ, намітити шляхи подальшого їх термодинамічного удосконалення.

3. При теплопостачанні спиртових заводів від власної котельні для утилізації теплоти барди і лютера, енергетично більш економічно використання турбокомпресійного теплового насоса. Термокомпресія, не дивлячись на більш низькі енергетичний коефіцієнт і коефіцієнт трансформації теплоти, може бути рекомендована для заводів з комбінованою виробкою електроенергії і пари на ТЕЦ при проміжковому відборі пари в турбінах.

4. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені енергозберігаючі БРУ нового покоління, які відрізняються високим ступенем утилізації вторинних енергетичних ресурсів і високими економічними характеристиками.

5. Включення розгонної колони в систему БРУ по схемі, що передбачає додаткову гідроселекцію в епюраційній колоні, роздріблену конденсацію домішок спирту в розгонній колоні і догрів флегми розгонної колони до температури кипіння, дозволяє стабільно

виробляти спирт-ректифікат вищої очистки, не дивлячись на підвищений вміст головних домішок у вихідній головній фракції, при відборі КГФ не більше 0,23% по абсолютному алкоголю.

6. При ректифікації зерно-картопельних бражок з підвищеним вмістом метилового спирту в розгонній колоні необхідно забезпечити

співвідношення  $L/G = 1,9$ , при витратах грючої пари  $2,0 \text{ кг/дал а.а.}$  і помірній гідроселекції —  $1,34 \text{ кг/кг а.а.}$

Застосування помірної гідроселекції в процесі розгонки головної фракції зерно-картопельних спиртзаводів дозволяє скоротити витрати грючої пари в розгонній колоні в середньому на  $12\%$ .

7. Ефективний витяг етилового спирту з головної і сивушної фракцій в розгонній колоні можливий при збільшенні витрати грючої пари до  $3,6 \text{ кг/кг а.а.}$  і води до  $13,5 \text{ кг/кг а.а.}$  при числі тарілок у відгонній частині колони не менше 26 шт. Такі умови можуть бути рекомендовані тільки для меляєних заводів, головна фракція яких не містить метиловий спирт.

8. Фракційна ректифікація концентрату головної фракції дозволяє отримувати з нього в середньому  $18...22\%$  етилацетатного розчинника,  $17...19\%$  етилового спирту і альдегідний концентрат, кількість якого не перевищує  $0,004\%$  по абсолютному алкоголю бражки.

Результати роботи реалізовано на Андрушівському, Барському, Намівському спиртзаводах, Буцацькому мальтозному заводі.

Сумарний економічний ефект від впровадження розробок по темі дисертації склав за період з 1990 по 1996 роки  $3265618000 \text{ крб.}$  без врахування коефіцієнту інфляції.

### Список публікацій по темі дисертації

1. Циганков П.С., Шиян П.Л., Мельничук П.П. Нові схеми брагоректифікаційних установок // Харчова і переробна промисловість. — 1993 — №2 — с. 15-16.

2. Шиян П.Л., Циганков П.С., Мельничук П.П. Энерго- та ресурсозберігаючі схеми брагоректифікаційних установок харчової промисловості // Наукові праці УДУХТ. — 1994. — №2. — с. IV-V.

3. Шиян П.Л., Цыганков П.С., Мельничук П.П. Энергетическая оценка теплонасосных установок в процессе рекуперативного использования теплоты барды и лютерной воды // Пищевая промышленность. Межведомственный тематический научный сборник. — 1993. — №39. — с. 75-79.

4. Пріоритетний напрямок /С.Ф.Гончар, П.Л.Шиян, В.О.Маринченко, В.П.Ярьсько, В.В.Сосницький, П.П.Мельничук// Харчова і переробна промисловість. — 1995. — №8. — с. 13-15.

5. Патент України №907 від 30.04.93. Установка для одержання ректифікованого спирту /Шиян П.Л., Циганков П.С., Мельничук П.П.

6. Пріоритетна довідка на видачу Патенту України №95041672 від 30.03.1995 р. Пристрій для відбору та виділення сивушного масла в процесі ректифікації / Циганков П.С., Шиян П.Л., Ярьсько В.П., Мельничук П.П.

7. Шиян П.Л., Цыганков П.С., Мельничук П.П. Использование эксергетического анализа с целью термодинамического совершенствования брагоректификационных установок // Тезисы докладов 3-й Всесоюзной научно-техн. конференции «Интенсивное энергосбережение в промышленной теплотехнологии». МЭИ. — М.: Изд-во МЭИ. 1991, с. 129-130.

8. Шиян П.Л., Цыганков П.С., Мельничук П.П. Эксергетический анализ брагоректификационных установок. //Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по теории и практике ректификации. Северодонецк. 1991, с.112-113.

9. Цыганков П.С., Шиян П.Л., Мельничук П.П. Енергозберігаючі брагоректифікаційні установки з тепловими насосами. //Тези доповідей Міжнародної конференції «Розробка і впровадження нових технологій і устаткування в харчову та переробну галузі АПК». КТІХП—Київ: 1993 — с.446-447.

10.Цыганков П.С., Шиян П.Л., Мельничук П.П. Утилізація концентрату головної фракції етилового спирту //Там же.

## АНОТАЦІЯ

МЕЛЬНИЧУК П.П. «Удосконалення енерго- та ресурсозберігаючої технології ректифікації в спиртовій промисловості»

Дисертація на здобуття ученого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.07 — Технологія продуктів бродіння, Український державний університет харчових технологій, Київ, 1996.

Захищається 8 наукових праць, 1 патент України і 1 рішення на видачу патентів України, які вміщують результати теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на удосконалення енерго- та ресурсозберігаючої технології ректифікації в спиртовій промисловості. Установлено, що рекуперативне використання вторинної теплоти сивушної фракції, догрів флегми колон до температури кипіння відходячою теплою барди і лютерної води, а також двоступінчасте концентрування спирту дозволяє знизити витрати гріючої пари в середньому на 3,5 кг /дал спирту. Запропоновані прогресивні схеми БРУ з замкнутою системою рекуперації теплоти відходячих матеріальних потоків за допомогою теплових насосів. Удосконалено технологію і техніку видобування етилового спирту з спиртмістких відходів ректифікації в умовах спиртозаводів. Проведено промислове впровадження запропонованих технологій і технічних рішень, наводяться дані про ефективність використання їх у виробництві.

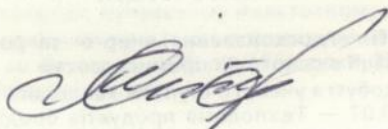
Ключові слова: брагоректифікація, енерго- та ресурсозбереження, ексергія, леткі домішки.

MELNICHUK P.P. «Improvements in energy — and recourse-saving technology of rectification used in alcoholic beverage industry»

The thesis is presented for doctor s of sciencies thesis, speciality 05.18.07 — Technology of termentation products, Ukraine State Univerity of Food Technologies, Kiev, 1996.

8 scitntific contributions, 1 patent of Ukraine and 1 decisions on issue of patents of Ukraine, which contain some results of theoretical and experimental investigations, aimed at improvements in energy — and recourse-saving

technology of rectification used in alcoholic beverage industry are defended. It is determined that resuperative application of secondary heat of fusel fraction, additional heating of columns reflux up to doiling point by discharge heat starter distillation wastes and from discharge water under output of rectified alcohol from crude alcohol, as well as double-stage concentration of alcohol makes it possible to reduce heating steam consumption by 3,5 kg/decalitres of alcohol. A modern schemes of alcoholic fermentation and rectification products plants having closed systems of heat recuperation of exit material streams by means of thermocompressors are suggested. A technology and practice for ethyl alcohol output from alcohol-containing rectification wastes under conditions of operating alcohol distilleries is improved. Industrial implementation of proposed technical solutions and technologies is realized, an information regarding efficiency of its application in production is given too.

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'A. P. ...', is written in a cursive style across the middle of the page.

Формат 60x84/16 Зам. 1505. Тираж 200 прим.  
ОП ТВПК «Збруч» м. Тернопіль, вул. Живова, 11.

438871

AB 35.516

**AB 35.516**