

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
79 НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ВИКЛАДАЧІВ АКАДЕМІЇ**

**Одеса 2019**

Наукове видання

Збірник тез доповідей 79 наукової конференції викладачів академії  
16 – 19 квітня 2019 р.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами.  
За достовірність інформації відповідає автор публікації.

Рекомендовано до друку та розповсюдження в мережі Internet Вченою радою  
Одеської національної академії харчових технологій,  
протокол № 9 від 02.04.2019 р.

Під загальною редакцією Заслуженого діяча науки і техніки України,  
Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки,  
д-ра техн. наук, професора Б.В. Єгорова

Укладач Т.Л. Дьяченко

Редакційна колегія

Голова

Єгоров Б.В., д.т.н., професор

Заступник голови

Поварова Н.М., к.т.н., доцент

Члени колегії:

Амбарцумянц Р.В., д-р техн. наук, професор

Безусов А.Т., д-р техн. наук, професор

Бурдо О.Г., д.т.н., професор

Віннікова Л.Г., д-р техн. наук, професор

Гапонюк О.І., д.т.н., професор

Жигунов Д.О., д.т.н., доцент

Іоргачова К.Г., д.т.н., професор

Капрельянц Л.В., д.т.н., професор

Коваленко О.О., д.т.н., ст.н.с.

Косой Б.В., д.т.н., професор

Крусір Г.В., д-р техн. наук, професор

Мардар М.Р., д.т.н., професор

Мілованов В.І., д-р техн. наук, професор

Осипова Л.А., д-р техн. наук, доцент

Павлов О.І., д.е.н., професор

Плотніков В.М., д-р техн. наук, доцент

Станкевич Г.М., д.т.н., професор,

Савенко І.І., д.е.н., професор,

Тележенко Л.М., д-р техн. наук, професор

Ткаченко Н.А., д.т.н., професор,

Ткаченко О.Б., д.т.н., професор

Хобін В.А., д.т.н., професор,

Хмельнюк М.Г., д.т.н., професор

Черно Н.К., д.т.н., професор

2. Патент на корисну модель РФ №156185, Пристрій для низькотемпературного розподілу газових сумішей // Бондаренко В. Л., Симоненко Ю.М., опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.

## МЕТОДИ РОЗДІЛЕННЯ ГЕЛІЮ І КСЕНОНУ

<sup>1</sup>Бондаренко В.Л., д.т.н., проф., <sup>2</sup>Чигрін А.О., інженер-технолог

<sup>1</sup>Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

<sup>2</sup>ТОВ «Кріоін Інжинірінг», м. Одеса

У ряді наукомістких технологій використовуються вакуумні камери, в які подаються інертні гази і їх суміші [1]. Названі установки оснащені високопродуктивними системами відкачування, на виході з яких отримують потоки з атмосферним тиском. Зазвичай такі суміші на 95...99 % складаються з аргону або гелію. Іншим компонентом є один з важких інертів (криптон або ксенон). Вторинне використання таких цінних продуктів дозволяє понизити експлуатаційні витрати в напівпровідникових технологіях. Для рециклінгу газів необхідно реалізувати певну послідовність процесів, яка включає збір суміші в газгольдері, первинне стиснення, розподіл на компоненти та їх очищення від побічних домішок, вторинне стиснення для зберігання перед подачею окремих газів в прецизійні дозатори вакуумних камер.

Поділ сумішей легких і важких інертних газів можна здійснити декількома способами [2]. В якості прикладу в таблиці 1 надані характерні режимні параметри сепараторів для бінарної системи He-Xe.

Таблиця 1 – Методи розділення гелію і ксенону

№	Процес	Температура; тиск, (абс.)	Переваги	Недоліки
1.	Ректифікація	220...230 К; 10...14 бар	Безперервність	Неможливо отримати чистий гелій
2.	Баромембранна сепарація	280...330 К; 10...15 бар	Безперервність компактність, простота	Неможливо отримати жоден з компонентів в чистому вигляді
3.	Адсорбція	165...200 К; 10...15 бар	Компактність, малі втрати і цільових продуктів	Циклічність. Неможливість отримати чистий ксенон
4.	Виморожування (десублімація)	77,4 До 1,2...1,5 бар		

1. Ректифікація. Компоненти бінарної суміші гелій-ксенон не можуть одночасно існувати в рідкому виді. Температура замерзання ксенону більш ніж на 150 градусів вище за критичну температуру гелію [3]. Різка відмінність у властивостях не дає шансів розділити цю суміш в колоні і одночасно отримати в чистому вигляді обидва компоненти. При ректифікації суміші He-Xe теоретично можна видобувати чистий ксенон (0 % He). Проте чистий гелій у такий спосіб виділити не вдається. Крім того, отримання ксенонової рідини (флегми) при подачі в колону бідної суміші проблематично. Навіть розділення сумішей з вмістом ксенону в десятки відсотків потребує наявності в колоні проміжних компонентів, які штучно вводяться між ксеноном і гелієм.

2. Баромембранна сепарація базується на відмінностях в швидкості проникання газів через пористу перегородку. Селективність мембрани по відношенню до газоподібних речовин прийнято виражати у вигляді коефіцієнта  $K_i$ , що має розмірність  $[м^3/(\text{бар}\cdot\text{м}^2\cdot\text{год})]$ . Цей чинник чисельно дорівнює кількості нормальних кубометрів газу, який проходить за 1 годину через перегородку площею  $1 \text{ м}^2$  при перепаді тисків 1 бар [4]. Для гелію і ксенону відмінності в прониканні досить значні:  $K_{\text{He}} 0,4 [м^3/(\text{бар}\cdot\text{м}^2\cdot\text{год})]$ , а

$K_{Xe}=0,0015$  [м<sup>3</sup>/(бар·м<sup>2</sup>·год)]. Але навіть такі сприятливі властивості ( $K_{He}/K_{Xe} > 260$ ) не допускають використання мембранного модуля в якості самостійного ступеня розподілу суміші He-Xe.

Процеси періодичної сепарації. Для глибокого очищення гелію можуть бути використана адсорбція і десублімація. Із-за обмеженого об'єму тез розглянуто тільки другий з названих процесів (п. 4, табл.1). По мірі охолодження потоку і переходу Хе в твердий стан, парціальний тиск ксенону в суміші падає. При незмінному тиску потоку, наприклад,  $P_{\text{сум}} = 1,5$  бар (абс.) відповідно до закону Дальтона це призводить до зниження концентрації висококиплячого компонента. Найважливішою експлуатаційною характеристикою виморожувача є температура потоку на виході з каналу  $T_{\text{сум}}$ . В кінцевому рахунку вона диктує долю ксенону в потоці гелію після виморожувача. Для системи He-Xe при охолодженні каналу рідким азотом, киплячим при атмосферному тиску ( $T_{\text{сум}} = 77,4$  К), концентрація ксенону в потоці гелію складе  $u_{Xe} = 0,0002\%$ .

Слід зазначити, що вказана кількість ксенону  $u_{Xe}$  в потоці очищеного гелію буде характерна тільки на початку процесу. По мірі наростання товщини інею температура  $T_{\text{сум}}$  на межі газ-тверде тіло збільшуватиметься із-за термічного опору намороженого ксенону. Тому досягши критичної товщини шару Хе процес зупиняють і виводять ксенон шляхом нагрівання стінок каналу. Звичайно, як для адсорберів, так і для виморожувань для забезпечення безперервної сепарації необхідно використовувати, як мінімум, два ідентичні апарати.

Проведений аналіз показав, що жоден з представлених в таблиці методів не забезпечує отримання обох компонентів суміші, в чистому вигляді. Одночасне видобування гелію і ксенону з мінімальними втратами цільових продуктів досягається поєднанням декількох процесів. Серед них:

- мембранне збагачення потоку ксеноном перед подачею в колону;
- глибоке очищення гелію шляхом виморожування або адсорбції;
- витягання чистого ксенону в ректифікаційній колоні (з Хе-концентратів, що отримуються в мембрані і блоці очищення гелію).

### Література

1. Бондаренко В.Л. Очищення ксенону від низькокиплячих домішок методом ректифікації. / В.Л. Бондаренко, О.Н. Биканов, Ю.М. Симоненко та ін. // Технічні гази, 2017. – № 6. – С. 22-38.
2. Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М. Кріогенні технології видобування рідкісних газів. – Одеса: «Астропрінт», 2013. – 332 с.
3. Бондаренко В. Л. Фазова поведінка низькопотенційних концентратів рідкісних газів. / В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков Ю.М. Симоненко та ін. // Холодильна техніка і технологія, 2010. – № 6 (128). – С. 8-16.
4. Бондаренко В.Л. Застосування мембранних процесів в технологіях розподілу газових сумішей на основі компонентів повітря. / В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков, Ю.М. Симоненко та ін. // Технічні гази, 2012. – № 2. – С. 19-30.

## НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ СИРОЇ НЕОНОГЕЛІЄВОЇ СУМІШІ

Кравченко М.Б., д.т.н., доцент

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Процес адсорбційного розділення газових сумішей відомий під назвою безнагрівної короткоциклової адсорбції (БКА) відрізняється тим, що адсорбент регенерується не за

ВИПРОБУВАННЯ МАЛИХ ХОЛОДИЛЬНИХ КОМПРЕСОРІВ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ І СЕРТИФІКАЦІЇ	
<b>Мілованов В.І., Закушняк М.Ю.....</b>	247
СУЧАСНІ МЕТОДИ РЕКОНСТРУКЦІЇ КОМПРЕСОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ	
<b>Мілованов В.І., Клебан Я.Л.....</b>	248
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕЗШАТУННОГО КОМПРЕСОРА НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ	
<b>Яковлев Ю.О., Войтюк С.Ю.....</b>	249
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВУГЛЕКИСЛОТНИХ КОМПРЕСОРІВ	
<b>Яковлев Ю.О., Кременецький В.В.....</b>	251
ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РЕКУПЕРАТИВНИХ ПРОЦЕСІВ ПРОМІЖНОГО ТИСКУ В ПАРОКОМПРЕСІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ЦИКЛАХ	
<b>Ярошенко В.М.....</b>	251

#### СЕКЦІЯ «КРІОГЕННА ТЕХНІКА»

РЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ КСЕНОНУ	
<b>Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М., Биканов О.М.....</b>	254
МЕТОДИ РОЗДІЛЕННЯ ГЕЛІУ І КСЕНОНУ	
<b>Бондаренко В.Л., Чигрін А.О.....</b>	255
НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ СИРОЇ НЕОНОГЕЛІЄВОЇ СУМІШІ	
<b>Кравченко М.Б.....</b>	256
ВИХРОВІ ХОЛОДИЛЬНО-НАГРІВАЛЬНІ АПАРАТИ В ГАЗОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	
<b>Медушевський Є.В., Тишко Д.П., Пилипенко Б.О.....</b>	258
АНАЛІЗ ЕКОНОМІЇ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ В КРІОГЕННИХ СИСТЕМАХ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ	
<b>Троценко О.В.....</b>	259
ЗАЛУЧЕННЯ АБІТУРІЄНТІВ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ	
<b>Макаренко М.В., Симоненко Ю.М., Вігуржинська С.Ю., Чигрін А.А.....</b>	260
ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ В СИСТЕМАХ ТРИГЕНЕРАЦІЇ	
<b>Морозюк Л.І., Соколовська-Єфименко В.В., Гайдук С.В., Грудка Б.Г., Мошкатиюк А.В.....</b>	261

#### СЕКЦІЯ «ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ»

ТЕРМОЕКНОМІЧНА МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ	
<b>Жихарєва Н.В.....</b>	262
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ТРИХОГРАМИ	
<b>Піщанська Н.О., Бельченко В.М.....</b>	264
ДОСВІД ПРОЕКТУВАННЯ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК	
<b>Желіба Ю.О., Сливинська М.В., Климашенко Р.В.....</b>	265
ЗАСТОСУВАННЯ БІНАРНОГО ЛЬОДУ ЯК ХОЛОДОНОСІЯ ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ ТУШОК ПТИЦІ	
<b>Зімін О.В.....</b>	267
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧІВ	
<b>Стоянов П.Ф.....</b>	268
НЕТРАДИЦІЙНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ПРІСНОЇ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ СУДНА	
<b>Подмазко О.С.....</b>	270
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИКИ ТА КІНЕТИКИ ОПРІСНЕННЯ МОРСЬКОЇ ВОДИ	
<b>Терзієв С.Г., Масельська Я.О.....</b>	273

#### СЕКЦІЯ «ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ ЕНЕРГОНОСІЇВ»

МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ ДЛЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	
<b>Босий Д.Б., Сярова А.С., Косой Б.В.....</b>	274
MODELING OF THERMAL MODES OF THE REFLUX CONDENSER OF THE ABSORPTION REFRIGERATION UNIT	
<b>Kholodkov A.O., Titlov A.S., Bilenko N.A.....</b>	274
РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ДВОФАЗНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ З КОЛЕКТОРНИМИ ТЕПЛООБМІННИКАМИ	
<b>Альтман Е.І.....</b>	276