



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
АСОЦІАЦІЯ ІНЖЕНЕРІВ ПО ВЕНТИЛЯЦІЇ, ОПАЛЕННЮ ТА  
КОНДИЦІОНУВАННЮ «АВОК України»  
СПІЛКА ХОЛОДИЛЬЩИКІВ УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ**

**XI Всеукраїнська науково-технічна конференція  
XI Всеукраинская научно-техническая конференция  
XI International scientific conference**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ  
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

**21-22 вересня 2017 року**

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**



**ОДЕСА 2017**

УДК 621.565 (075.6)

**Сучасні проблеми холодильної техніки та технології** / Збірник тез доповідей XI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 243 с.

У збірнику наведені матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XI Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Одеської національної академії харчових технологій протоколом №6 від 07.11.2017 р.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.  
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

**Голова конференції – Єгоров Богдан Вікторович** – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

**Заступник голови – Косой Борис Володимирович** – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Хмельнюк М.Г. – зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Лагутін А.Є – академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Морозюк Л.І. – д-р техн. наук, професор.

Железний В.П. – зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор.

Симоненко Ю.М. – зав. кафедрою криогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор.

Мілованов В.І. – зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор.

Радченко М.І. – зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Бондаренко В.Л. – д-р техн. наук, професор.

Лавренченко Г.К. – д-р техн. наук, професор.

Семенюк В.О. – к.т.н., директор НВФ «Терміон».

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Буданов В.О., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Стоянов П.Ф., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Ерін В.А., к.т.н. Гайдук С.В., к.т.н. Соколовская В.В., к.т.н. Подмазко І.О., к.т.н. Федоров О.Г.

## ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

### **1. 30 РОКІВ МОНРЕАЛЬСЬКОГО ПРОТОКОЛУ. СТРАТЕГІЇ В СФЕРІ ОБІГУ ОЗОНОРУЙНУЮЧИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ**

Возний В.Ф., к.т.н., президент ВГО «Спілка холодильщиків України»

### **2. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ І СПОЖИВАННІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ**

Бондаренко В.Л., доктор техн. наук, професор, МДТУ ім. М. Е. Баумана, м. Москва;

Биканов О.М., «KLA–Tencor Corporation», Milpitas, California, USA;

Симоненко Ю.М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса

Чигрин А.А., інженер-технолог, ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса;

e-mail: [ysim1@yandex.ua](mailto:ysim1@yandex.ua)

### **3. ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ, ТЕПЛА И ХОЛОДА: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И РЕФРИЖЕРАЦИИ НУК ИМ. АДМИРАЛА МАКАРОВА**

Радченко Н.И. доктор техн. наук, професор, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, [nirad50@gmail.com](mailto:nirad50@gmail.com)

### **4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ**

Трушляков Е.И., к.т.н., доц., Радченко А.Н., к.т.н., доц., Грич А.В., к.т.н., ассистент

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев,

[nirad50@gmail.com](mailto:nirad50@gmail.com)

### **5. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ. СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО-ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

А.В. Дорошенко, доктор техн. наук, професор кафедры термодинамики и возобновляемой энергетики

### **6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПРЕССОРА. СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ВИНТОВОГО И ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРОВ**

В. Гринько Региональный представитель J&E Hall и GEA ВОСК/Генеральный директор ООО «Еврокул

<b>СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.</b>		стр.
<b>ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ</b>		
40.	<b>ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОТЕРМОПРЕСОРА ДЛЯ ПРОМІЖНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК</b> Коновалов Д.В., Кобалава Г.О., Котік Х.А.	97
41.	<b>РОЗРОБКА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ ВСТАВКИ ДЛЯ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ</b> Луняка К.В., Ключев О.І., Русанов С.А.	99
42.	<b>OPERATIONAL EFFICIENCY IMPROVEMENTS FOR REFRIGERATION SYSTEMS DURING SUMMER PERIOD</b> Nesterov P.S., Buyadgie O.D., Khmelniuk M.G., Yakovleva O.Y.	102
43.	<b>АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НАВЧАЛЬНО-АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ ХЕРСОНСЬКОЇ ФІЛІЇ НУК</b> Калініченко І.В., Сидорова В.І.	104
44.	<b>EFFICIENCY EVALUATION OF DOMESTIC SOLAR ASSISTED GROUND-SOURCE HEAT PUMP SYSTEM FOR SOUTHERN UKRAINIAN REGION</b> O. Ostapenko, O. Yakovleva, M. Khmelniuk	105
45.	<b>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В СИСТЕМАХ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДРІБНОСЕМ'ЯНИХ КУЛЬТУР</b> Петушенко С.М.	108
46.	<b>К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ КАПЕЛЬ ХЛАДАГЕНТА В ФИЛЬТРЕ ЭЖЕКТОРЕ</b> Когут В.Е., Бушманов В.М.	110
47.	<b>КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ</b> Трушляков Е.И., Радченко А.Н., Грич А.В.	112
48.	<b>УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ ПРИ НЕИЗМЕННЫХ ГАБАРИТАХ ТЕПЛООБМЕННОГО БЛОКА</b> Козаченко И. С., Лагутин А.Е.	115
49.	<b>ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОПРЕСОРНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВОГО ДВЗ</b> Коновалов Д.В., Джурина А.О., Смоляний Є.С.	118
<b>СЕКЦІЯ № 2. ХОЛОДИЛЬНІ ТА КРІОГЕННІ МАШИНИ.</b>		стр.
<b>ТЕПЛОВІ НАСОСИ</b>		
50.	<b>РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ І СПОЖИВАННІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ</b> Бондаренко В.Л., Биканов О.М., Симоненко Ю.М., Чигрин А.О.	119
51.	<b>МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГЕЛІУ ВІД ВАЖКИХ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ</b> Чигрин А.О.	122
52.	<b>ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОМАШТАБНИХ ВИХРОВИХ ТРУБ В КРІОГЕННІЙ ТЕХНІЦІ</b> Симоненко Ю.М., Тишко Д.П.	124
53.	<b>ВИРОБНИЦТВО ГЕЛІУ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ ШЛЯХОМ ПЕРІОДИЧНОЇ АДСОРБЦІЇ ПРИ T=28...78 K</b> Бондаренко В.Л., Башкиров Г.В., Пилипенко Б.О.	126
54.	<b>ОТРИМАННЯ ІЗОТОПІВ ЛЕГКИХ ГАЗІВ МЕТОДОМ РЕКТИФІКАЦІЇ</b> Бондаренко В. Л., Емельянов О. М., Меркулов М. Ю., Симоненко Ю. М.	130
55.	<b>ВИКОРИСТАННЯ БАРОМЕМБРАННОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НЕОНОГЕЛІЄВОЇ СУМІШІ</b> Башкиров Г. В., Кошовий С. О., Симоненко Ю. М.	133
56.	<b>MODELING OF THERMAL MODES OF THE REFLUX CONDENSER OF THE ABSORPTION REFRIGERATION UNIT</b> Kholodkov A.O., Titlov A.S.	136
57.	<b>THE SEARCH OF ENERGY-EFFICIENT OPERATION MODE OF AMMONIA-WATER-ABSORPTION REFRIGERATION MACHINES</b> Osadchuk E.A., Kirilov V.Kh., Mazurenko S.Yu.	137
58.	<b>DEVELOPMENT OF UNIVERSAL ABSORPTION REFRIGERATION DEVICES FOR OPERATION IN A WIDE RANGE OF AMBIENT TEMPERATURES</b> Selivanov A.P.	138
59.	<b>DESIGN OF PERIODIC OPERATION AMMONIA-WATER ABSORPTION REFRIGERATION UNITS IN ATMOSPHERIC WATER GENERATION SYSTEMS</b> Ozolin N.E., Titlov A.S.	139

## ОТРИМАННЯ ІЗОТОПІВ ЛЕГКИХ ГАЗІВ МЕТОДОМ РЕКТИФІКАЦІЇ

Бондаренко В. Л., доктор техн. наук, професор, МДТУ ім. М. Е. Баумана, м. Москва;  
 Емельянов О. М., провідний інженер ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса;  
 Меркулов М. Ю., директор науково-дослідного центру ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса;  
Симоненко Ю. М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса;  
 e-mail: [ysim1@yandex.ua](mailto:ysim1@yandex.ua)

У багатьох сучасних, а тим більше перспективних, технологіях незмінно використовуються стабільні газові ізотопи. Унікальні фізико-хімічні властивості роблять їх затребуваними в наукових дослідженнях, лазерної техніці, медицині та аерокосмічній галузі. Найважливішим сегментом використання ізотопних газових продуктів представляються енергетичні установки майбутнього. Вже зараз глобальне споживання енергії перевищило рубіж  $2 \cdot 10^{13}$  кВт·ч/рік. В умовах вичерпання викопних ресурсів надія людства звернена до альтернативних джерел енергії. Серед них – реакції термоядерного синтезу (рис. 1). При таких перетвореннях ізотопів легких газів, крім енергії, утворюється також переважаючий в природі ізотоп гелію –  $^4\text{He}$ . Найближчі десятиліття основними джерелами гелію будуть природні, попутні і нафтові гази, що добуваються з надр США, Алжиру та Катару. Але природні запаси гелію не безмежні і в земних покладах: до кінця XXI століття його практично не залишиться. Якби існувала «Червона книга» зникаючих на Землі хімічних елементів, то гелій в ній, однозначно, входив би в першу десятку найбільш критичних речовин, поряд зі сріблом, цинком і германієм. Причому в цьому списку гелій є єдиним газоподібним елементом. Гелій, а також його ізотопні компоненти, по праву вважаються найважливішими стратегічними ресурсами людства. Вже зараз розглядаються перспективні проекти доставки ізотопу  $^3\text{He}$  з Місячної поверхні на Землю.

Альтернативою  $^3\text{He}$  в ядерній медицині може розглядатися рідкісний ізотоп неону –  $^{21}\text{Ne}$ . Медики покладають на нього великі надії, так як атомні та фізичні властивості допускають його застосування при MRI діагностиці вентиляції легенів. У порівнянні з  $^3\text{He}$ , котрого в «земному» гелії  $2 \cdot 10^{-5} \%$ , а в повітрі атмосфери Землі  $7 \cdot 10^{-10} \%$ , ізотоп  $^{21}\text{Ne}$  – більш доступний. Його концентрація в повітрі  $5 \cdot 10^{-6} \%$ . Крім ізотопу з атомною масою  $M = 21$  до складу неону входить ще два компонента з атомним номером  $N = 10$ :  $^{22}_{10}\text{Ne}$  і  $^{20}_{10}\text{Ne}$ . У другій половині XX-го століття ізотопи неону стали об'єктом дослідження фізиків в лабораторіях Стокгольма, Берклі і Дубні. У 1964 р за допомогою неону був відкритий елемент №104 – курчатовій. Радянські вчені вперше отримали цю речовину в результаті синтезу ізотопів неону і плутонію.

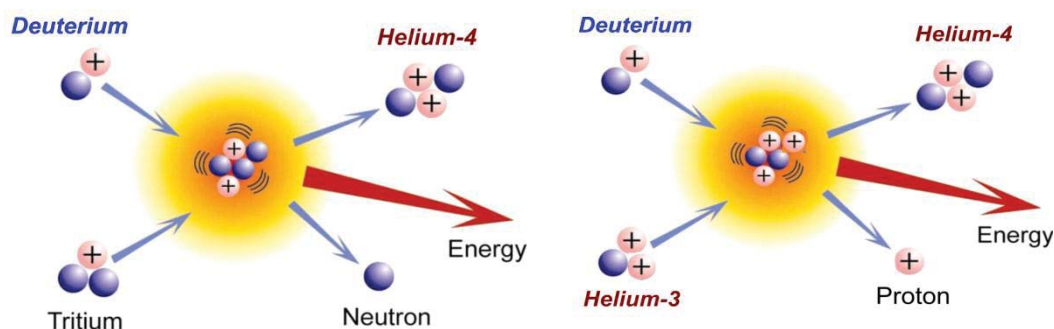


Рис.1. Термоядерні реакції за участю ізотопів легких газів

В результаті ядерних реакцій на основі  $^{22}\text{Ne}$  можуть бути синтезовані також нобелій, францій і астат [1]. Ізотопні аномалії сприяють розкриттю таємниць утворення нашої планетної системи. Зокрема, астрономи виявили, що при нагріванні деяких метеоритів виділяється практично моноізоотоп –  $^{22}\text{Ne}$ , в той час як сумарний вміст  $^{21}\text{Ne}$  і  $^{20}\text{Ne}$  не перевищує 1% (що на два порядки нижче, ніж в неоні, що отримується з земної атмосфери).

Газова суміш ізотопів неону ( $^{20}\text{Ne} + ^{22}\text{Ne}$ ) є активним середовищем гіроскопів, робота яких базується на ефекті Зеємана. Вони нечутливі до механічних впливів і мають стабільний масштабний коефіцієнт. Крім навігації ізотопні лазери також затребувані для досліджень в фундаментальних галузях фізики.

Незважаючи на близькі фізичні властивості ізотопних компонентів, їх можна витягати з сумішей методом низькотемпературної ректифікації. Даний метод використовується в промислових масштабах, незважаючи на ряд технологічних труднощів. Перша з них – відносно складне криогенне забезпечення досить габаритних колон (див. нижче) при температурах  $T = 4,2 \text{ К} \dots 28 \text{ К}$ . Навіть в умовах ефективної вакуумної ізоляції та екранування зовнішніх теплопритоків забезпечити адіабатні умови по всій довжині колони не завжди вдається. Існує ймовірність виникнення «парових пробок», які виключають частину працюючого контактного простору і скорочують число реальних одиниць перенесення. При конструюванні масштабних ізотопних колон слід вживати заходів для компенсації теплових деформацій, так як зміна довжини окремих елементів при охолодженні буде вимірюватися сантиметрами!

Неон знаходиться на межі застосування дистиляційного методу, який вважається ефективним при молекулярних масах  $M < 20$ . Коефіцієнт поділу при дистиляції ізотопної пари  $^{20}\text{Ne}-^{22}\text{Ne}$  рівний відношенню пружності насичених парів, близький до 1,0 (2). Для ізотопних сумішей  $\text{H}_2 - \text{HD}$  і  $^3\text{He} - ^4\text{He}$  цей показник дорівнює відповідно 1,6 і 3,2.

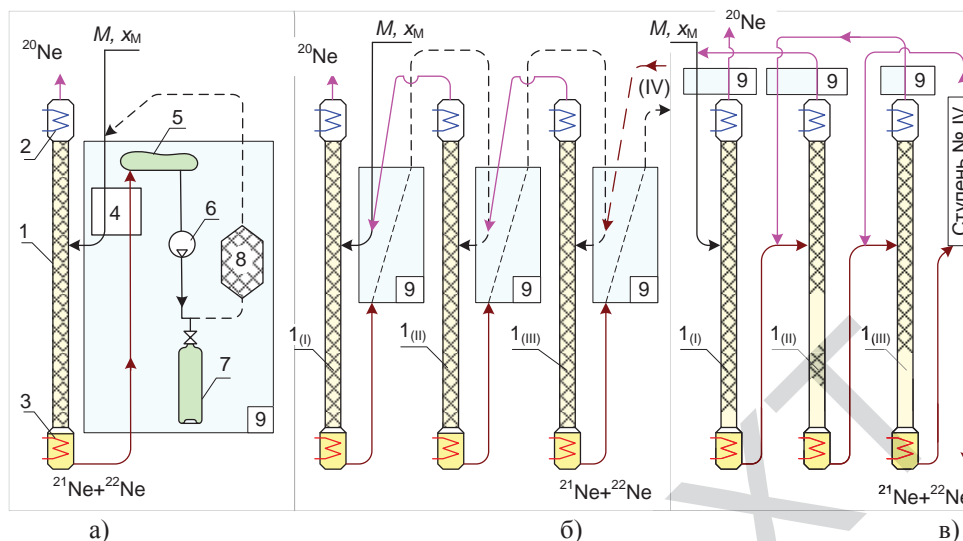
$$\alpha = \frac{P_{^{20}\text{Ne}}}{P_{^{22}\text{Ne}}} = 1,032\dots 1,047 \quad (2)$$

При типовій для неонових установок робочій температурі  $T = 28 \text{ К}$  відносна летючість названих неонових ізотопів становить всього  $\alpha = 1,037$ . Ефективний поділ можливий в ректифікаційних апаратах, які характеризуються сотнями одиниць перенесення. Висота насадочного шару, що еквівалентна теоретичній тарілці, становить 30 ... 40 мм [2]. Тому протяжність тільки масообмінної частини колони буде перевищувати 10 метрів. Висота лабораторних установок для отримання ізотопних компонентів обмежена. При цих умовах в одиночній колоні проблематично отримати ізотопний продукт з високою концентрацією та прийнятним коефіцієнтом вилучення. При недостатній кількості наявних одиниць перенесення розподіл ізотопних компонентів вимушено проводять в декілька стадій. На рисунку 2 показані схеми, в яких послідовно здійснюється концентрування висококиплячого ізотопного компонента ( $^{22}\text{Ne}$ ). У процесі збагачення з контуру виводиться у вигляді дистиляту суміш, що збагачена низькокиплячим ізотопом  $^{20}\text{Ne}$ . Перша схема (рис. 2-а) передбачає багаторазову переробку проміжних фракцій в одній і тій же колоні. Очевидно, що продуктивність такого методу невелика, і для підвищення продуктивності доцільно використовувати каскад з декількох колон [2], включених послідовно (рис. 2-б). Особливістю другої схеми є повернення дистиляту (верхньої фракції) в попередні секції  $I_{(I)}$  и  $I_{(II)}$ , відповідно, для повторної переробки. Для цього в кожній наступній ступені необхідно підтримувати підвищений щодо попереднього ступеня тиск  $P_I < P_{II} < P_{III}$ .

І в першому, і в другому випадку (рис. 2-а, б) для подачі збагачених  $^{22}\text{Ne}$  концентратів використовують ряд непродуктивних процесів (див. поз. 9). Отримувані в кубах проміжні фракції вимушено відігрівають до температури навколишнього середовища, збирають в газгольдерах, компримують, очищають від домішок, охолоджують і знову впускають в чергову колону (варіант б) або в цю ж колону (вар. а). На жаль, ці процедури призводять до втрат цінних ізотопних компонентів ( $^{21}\text{Ne} + ^{22}\text{Ne}$ ). Перспективним, на нашу думку, видається третій варіант (рис. 2-в), так як в ньому цінні продукти надходять безпосередньо в наступні ступені каскаду в холодному вигляді. При цьому в

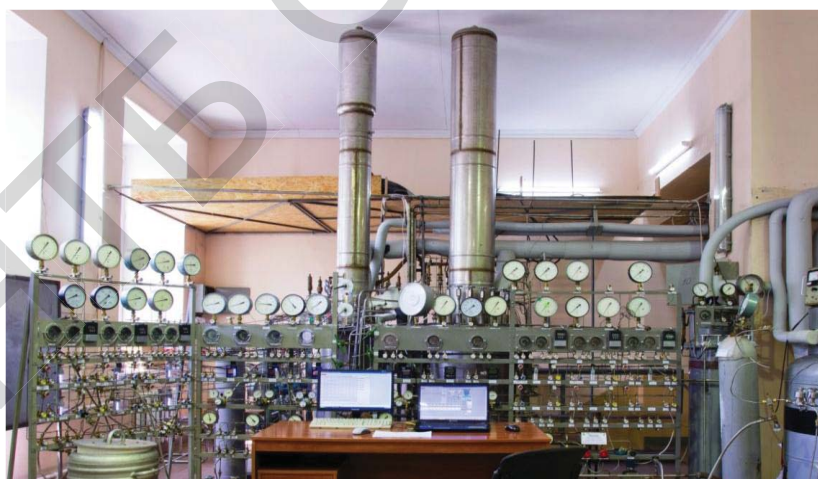
блоки 9 (збору, зберігання і очищення фракцій) подаються менш цінні продукти, що збагачуються компонентом  $^{20}\text{Ne}$ .

Створені і випробувані каскадні установки для поділу Ne на ізотопи (рис. 3). В умовах обмеженої доступної висоти колон отримані компоненти з ізоотною концентрацією  $> 99,99\%$  [3].



**Рис. 2. Варіанти багатостадійного поділу ізоотопних з'єднань. а) - на основі однієї і тієї ж колони ректифікації**  
**б) - в каскаді послідовних колон з відігрівання проміжних фракцій, збагачених цільовим продуктом;**  
**в) - в каскаді послідовних колон з відігрівання проміжних фракцій, збіднених цільовим продуктом.**

Позначення: 1 - ректифікаційні колони; (I) ... (III) - № ступенів; 2 - конденсатор; 3 - випарник куба; 4 - теплообмінник; 5 - газгольдер; 6 - компресор; 7 - ресивер; 8 - адсорбер; 9 - блок збору, зберігання і очищення фракцій



**Рис. 3. Ступенева установка для вилучення стабільних ізоотопів неону**

1. Бродский А.И., Стабильные изотопы легких элементов, / Успехи физических наук, т. XX, вып. 2, 1988г. с.153-182.

2. Patent 9,168,467 (USA), F25J 3/02; B01D 3/14. Assembly for separation gas mixtures in fractionating columns / Vitaly Bondarenko, Iurii Symonenko. Date of Patent: Oct. 27, 2015.

3. В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко, О.В. Дьяченко и др., Получение стабильных изотопов неона в каскаде ректификационных колонн // Технические газы. – 2012. – №5. – С. 29-40.