



**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.

Желізний 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

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

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

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

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

УДК 621.593

ВИКОРИСТАННЯ БАРОМЕМБРАННОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НЕОНОГЕЛІЄВОЇ СУМІШІ

Башкиров Г. В., інженер ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса
Кошовий С. О., кандидат техн. наук, керівник НПК «Гелій», ООО «Кріоін Інжиніринг»
Симоненко Ю. М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса
e-mail: ysim1@yandex.ua

Неон високої чистоти отримують з суміші, що містить Ne і He в співвідношенні приблизно 3: 1. Концентрація неону в такому потоці $y_{Ne} \approx 75\%$ задається кількістю даних інертних газів в атмосфері і може варіюватися в невеликому інтервалі в процесі збагачення і очищення суміші [1]. При поділі потоку Ne-He методом фазової сепарації при $T \approx 30$ К утворюється гелієва віддувка з концентрацією $y_{Ne} = 18 \dots 20\%$. Подавати (повертати) його в ректифікаційну установку безглуздо, так як такий крок призведе до небажаного накопичення гелію в контурі. Це, в свою чергу, може викликати зниження холодопродуктивності дросельного циклу і негативно позначиться на чистоті неону, одержаного в кубі ректифікаційної колони.

З цієї причини віддувочний потік гелію переробляють в окремому блоці методом періодичної адсорбції. Найбільше практичне застосування отримали апарати з азотним охолодженням при температурі $T = 68 \dots 78$ К [2]. В результаті переробки віддувки утворюються два потоки – чистий гелій (99,999%) і суміш, що багата неоном ($y_{Ne} = 80 \dots 85\%$). Цей продукт – сировина для неонові ректифікаційної установки, оскільки він за складом близький до основного потоку неонові суміші (див. вище). Таким чином, в результаті сукупного використання процесів фазової сепарації при неонових температурах і адсорбції на рівні азотних температур забезпечується практично безвідходне отримання неону і гелію високої чистоти.

Переважаючою статтею експлуатаційних витрат в блоці для переробки віддувки є витрати на кріогенне забезпечення. Кожен період роботи адсорбера супроводжується регенерацією, тобто відігрівом, за яким слідує чергове охолодження шару сорбенту і корпусу апарату до температур киплячого азоту. Питомі витрати на отримання гелію і неонові концентрату в кожному циклі багато в чому залежать від кількості рідкого азоту, що витрачається на кріогенне забезпечення, та кількості переробленої суміші. Останній параметр визначається ємністю сорбенту по відношенню до неону і концентрацією неону у віддувці.

Важливим резервом скорочення енергетичних витрат є збільшення тривалості робочої фази, тобто часу насичення адсорбера неоном до настання «просакування» Ne на виході. Звичайно, такий крок забезпечить при тих же витратах азоту великі обсяги одержуваних в адсорбері фракцій. Знизити навантаження на адсорбційний блок і скоротити число перемикачів адсорберів можна за рахунок зменшення концентрації неону в віддувочному потоці. Таке завдання можна вирішити шляхом дефлегмації на рівні температур $T < 28$ К [3]. В результаті даного процесу близько половини неону в складі віддувки перейде в конденсат. При цьому концентрація Ne на виході з фазового сепаратора зменшиться до 10%. Однак фазовий поділ суміші Ne-Ne при цих умовах дуже енергоємний. Виграш в адсорбційному циклі багато в чому буде знівельовано додатковими витратами на кріогенне забезпечення дефлегматора.

З огляду на складність створення та експлуатації фазового сепаратора на неоновому рівні температур, використаний альтернативний метод збагачення віддувки гелієм на вході в адсорбер. Запропонований спосіб базується на застосуванні мембранного модуля [4]. Його робота заснована на різному рівні проникності окремих компонентів суміші через матеріал мембрани. Ці відмінності характеризуються фактором поділу, який для системи Ne-Ne дорівнює $\alpha = 4 \dots 5$. Таким чином при

однаковому перепаді тисків через одиницю площі перегородки гелій буде проникати в кілька разів інтенсивніше, ніж неон.

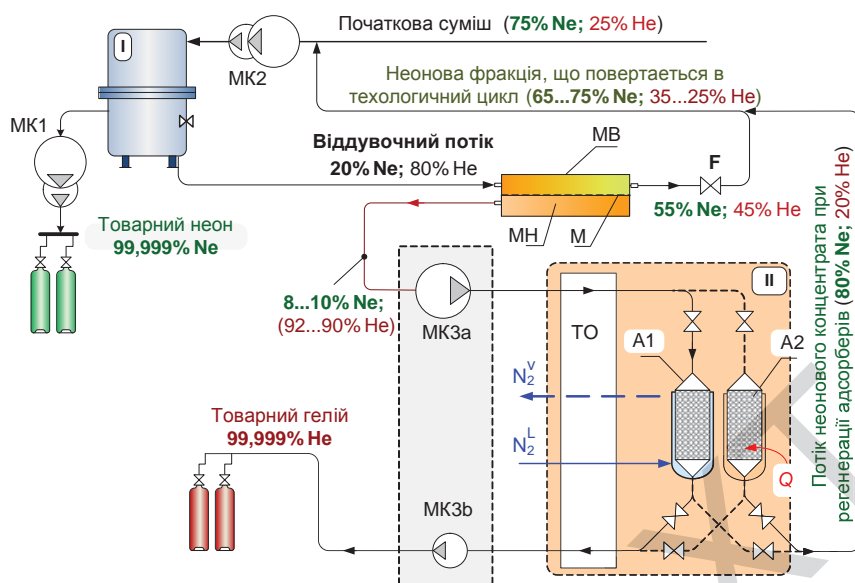


Рис.1. Схема комплексу для отримання неону і гелію високої чистоти з використанням мембранного модуля.

I – блок ректифікаційного вилучення Ne; II – блок адсорберів для вилучення Ne; МК1 ... МК3 – мембранні компресори; МК3а і МК3б – перший і другий ступені компресора МК3; М – мембрана; МВ і МН – порожнини високого і низького тиску мембранного модуля; А1 і А2 – криогенні адсорбери; HE – теплообмінник; F – регулятор витрати непермеатного потоку мембрани.

Схема комбінованого пристрою на основі мембрани й блоку адсорберів показана на рисунку 1. З установки отримання неону I віддувочний газ подається в порожнину МВ високого тиску мембранного модуля. Під дією різниці тисків частина суміші (переважно гелій) проникає через селективний шар М в порожнину МН низького тиску мембранного модуля. За рахунок різних проникностей компонентів суміші на виході з порожнини МН формується потік збагаченого гелію з концентрацією порядку $y_{\text{He}} = 90 \dots 92\%$. Потік, що залишився (не пройшов через мембрану М), зберігає свій тиск і на виході з порожнини МВ збагачується неоном з 20 до 55% Ne. Цей газ повертається в технологічний цикл неоновієї установки I. На переробку в блок ректифікації I також надходить неоновий концентрат, який виділяється з адсорберів (рис. 1 – А2) при їх регенерації.

На виході з мембранного модуля М концентрації фракцій визначаються співвідношенням їх витрат. Основним елементом управління при цьому є регулятор F, встановлений на непермеатном потоці. При відкритому регуляторі F кількість Ne, що проникає через мембрану в порожнину МН, незначне. На вхід компресора МК3а надходить маловитратний потік концентрованого гелію, а навантаження по неону на адсорбер А1, (А2) мінімальне. Однак такий режим не можна визнати оптимальним, оскільки неоніа фракція, що повертається, буде містити менш ніж 40% Ne і переробка її в ректифікаційній установці I викличе технологічні труднощі.

При закритті регулятора F концентрація неону на виході з порожнини МВ збільшується до 60 і більше відсотків. Одночасно зростає витрата потоку, що проникає через мембрану, на виході з порожнини МН. Цей процес також супроводжується наростанням концентрації неону, і навантаження на адсорбер збільшується. Можна припустити, що існує оптимальне співвідношення витрат на виході з мембранного модуля. Це співвідношення повинне забезпечувати відчутну економію ресурсів в адсорбері та прийнятну концентрацію неоновієї фракції, що повертається. Для підтримки названого режиму запропонована схема управління (рис. 2), яка заснована на використанні компаратора, постійно аналізуючого склад непермеатного потоку неоновієї фракції [5]. У разі

відхилення концентрації названої суміші від заданого рівня компаратор №1 формує керуючий сигнал для витратоміра F3..

Розроблена схема виконує ще одну відповідальну функцію – узгодження витрати потоку, що проникає через мембрану (в порожнину МН), і продуктивності компресора МК3. Традиційно, зменшення продуктивності компресорних агрегатів забезпечується шляхом зміни частоти обертання або за рахунок байпасування. На схемі рис. 2 надлишкова витрата МК3 направляє на вхід в мембранний модуль і змішується з потоком віддувки після витратоміра F1. При цьому завдяки рециркуляції потоку і повторному розподілу підвищується ефективність мембранного ступеня. Контур регулювання витрати рециркулюючого потоку включає керований витратомір F2 і датчик тиску P2 на всмоктуючій лінії компресору МК3. При падінні тиску $P_2 < 1,3$ бар (абс.) по команді P2 витрата через F2 збільшується. Навіть в умовах змінних параметрів на вході (F1; P1) підтримуються експлуатаційні умови, кращі для всіх елементів комплексу. Використання мембранного модуля в поєднанні з блоком адсорберів дозволяє підвищити економічність переробки віддувочного He-Ne потоку.

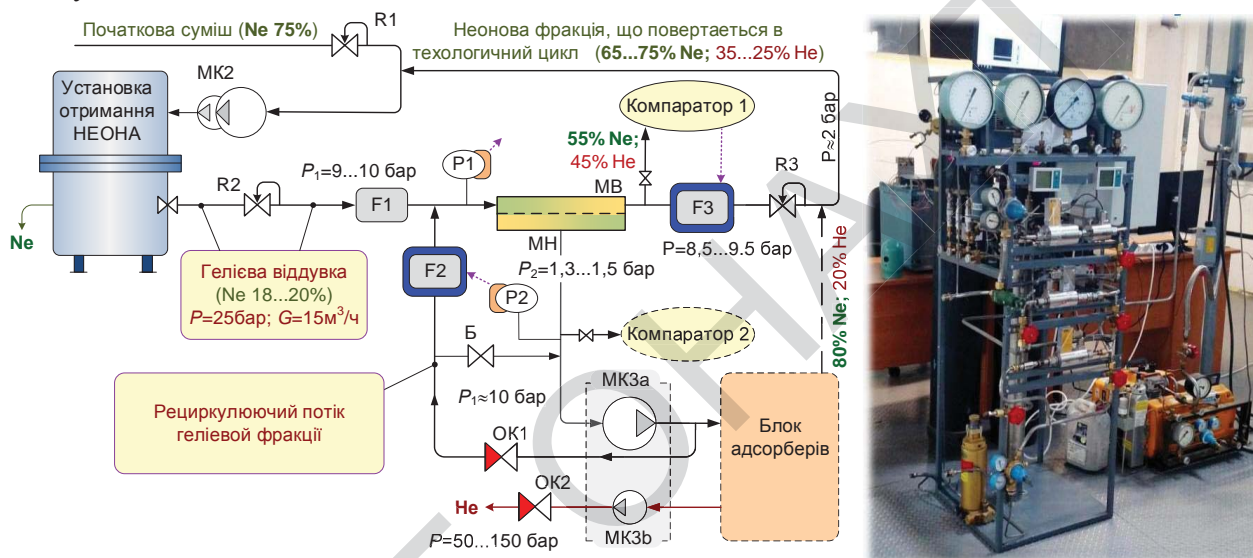


Рис.2. Спрощена схема для автоматичної підтримки експлуатаційних параметрів і зовнішній вигляд мембранного ступеня збагачення гелію (тиски абсолютні).

Позначення МК, МВ і МН відповідають рис. 1. R1 ... R3 – редуктори; P1, P2 – індикатори тиску; F1 – індикатор витрати; F2, F3 – регулятори витрати; Б – байпасний вентиль.

1. Криогенные технологии извлечения редких газов. / В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко // Одеса: «Астропрінт». – 2013. – 332 с.
2. V. L. Bondarenko, S. Yu. Vigurzinskaya, Yu. A. Shevich. Substantiation of Concentration Level at Enrichment of Light Rare Gases. *Chemical and Petroleum Engineering*. January 2016, Volume 51, Issue 9, pp 691-696. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10556-016-0106-8>.
3. Дроссельный цикл на неоне-гелиевой смеси в установке для разделения инертных газов / А.М. Архаров, В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Спецвыпуск «Криогенная и холодильная техника». – 1998. – С. 53-61.
4. Применение мембранных процессов в технологиях разделения газовых смесей на основе компонентов воздуха / В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков, Ю.М. Симоненко и др. // Технические газы – 2012. – №2. – С. 19-30.
5. Устройство для мембранного разделения неоне-гелиевой смеси: пат. 2528727 Рос. Федерация. В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26. -17 с.