

Мембранна технологія як основа створення лікувально-профілактичного устаткування для оротерапії та нормобаричної гіпоксії

Рассматриваются принципы мембранного способа разделения воздуха с целью создания гипоксических дыхательных газовых смесей для лечения и профилактики различных заболеваний. Показаны преимущества конструкций газоразделительных аппаратов на основе полых волокон, входящих в состав установок нормобарической гипоксии, разработанных в Украинском НИИ искусственных волокон и выпускаемых в условиях опытного производства.

Мембранні процеси вже досить широко використовуються у промисловості для розділення рідких та газових сумішей [1, 4]. В останні два-три десятиріччя мембранні методи розділення почали активно застосовуватися і в медицині, зокрема, для створення дихальних газових сумішей в гіпооксітерапії — немедикаментозному засобі підвищення резистентності організму людини до багатьох патогенних факторів оточуючого середовища.

Метод гіпооксітерапії застосовується для профілактики захворювань, лікування та реабілітації хворих з порушеннями різних систем та органів (серцево-судинної системи, крові, легень, шлунково-кишкового тракту тощо). В основі методу лежить дихання газовими сумішами із зниженим вмістом кисню при нормальному атмосферному тиску [5].

Для створення потрібної газової суміші необхідні відповідні пристрої (гіпооксікатори), серед яких найбільш перспективними, на наш погляд, є мембранні пристрої для розділення газів повітря. Мембрани являють собою тверді або рідкі міжфазні бар'єри, які перешкоджають прямому контакту розділюваних газових фаз. Для здійснення мембранного розділення необхідно, щоб мембрана була вибірно проникна для окремих компонентів газової суміші. При наявності різниці тиску будь-якого з компонентів по обидві сторони мембрани реалізується ланцюжок елементарних процесів: розчинення (сорбція) газу в матеріалі мембрани з боку підвищеного тиску; дифузія молекул газу в матеріалі мембрани; випаровування (десорбція) газу з боку зниженого тиску. Ці процеси йдуть паралельно за участю всіх компонентів газової суміші, причому константа проникності (P) кожного з них може бути подана як добуток коефіцієнту розчинності (S) та дифузії (D) в матеріалі мембрани [2]: $P = D \cdot S$.

Механізм перенесення газів (газопроникність) через полімерні мембрани залежить від ряду факторів, таких як природа газу, температура, а особливо тиск. Важливою характеристикою газороздільних мембран є фактор розділення — відношення проникності газів, які розділюються. Тобто фактор розділення значною мірою залежить від складу та властивостей застосованого для виробництва мембрани полімеру. Як правило, полімери з високим значенням фактору розділення мають низьку проникність навіть для найбільш проникного компоненту газової суміші. Тому для кожного конкретного процесу вибирають оптимальні значення проникності та фактору розділення [1, 6].

Широке розповсюдження мембранних методів розділення сумішей газів для сучасних технологій почалося завдяки створенню фірмою «MONSANTO» (США) мембран у вигляді порожнистих волокон з ароматичного полісульфону. Основне їх застосування — у галузі газорозділення повітря із створенням двох потоків, один з яких збагачений киснем, а другий, відповідно, азотом. На цей час розділенням газів повітря для технічних потреб займається практично кожна друга фірма, яка працює в галузі газорозділення, а до 1995 р. загальна вартість щорічного виробництва газороздільних мембранних установок (ГМУ) буде становити більше

ніж 500 млн. доларів. В медицині ГМУ нашого виробництва вперше були застосовані в 1984 р., коли створювалася при допомозі деяких інститутів АН України лікувальнопрофілактична камера штучного гірського клімату «Оротрон».

Розвиток процесу розділення газів повітря за допомогою мембран пов'язаний перш за все з пошуком або синтезом матеріалів, які характеризуються високими значеннями проникності та селективності за одним із компонентів повітря, а саме за киснем. В таблиці наведені значення коефіцієнтів проникності кисню та азоту через деякі полімери, які можуть бути використані для виготовлення мембран з метою практичного застосування.

Газороздільні властивості полімерних матеріалів

Полімер	Коефіцієнт проникності газів ($P \cdot 10^8$), $\text{нсм}^3 \cdot \text{см} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$		Селективність (PO_2/PN_2)	Літературне джерело
	O_2	N_2		
Полібутадієн	11,4	3,8	3,0	[7]
Полівінілтриметилсилан	33,1	8,2	4,0	[8]
Полідиметилсилоксан	369,6	174,7	2,1	[8]
Полісульфон	43,9	6,9	6,3	[9]
Полі-4-метилпентен-1	24,2	5,8	4,1	[8]

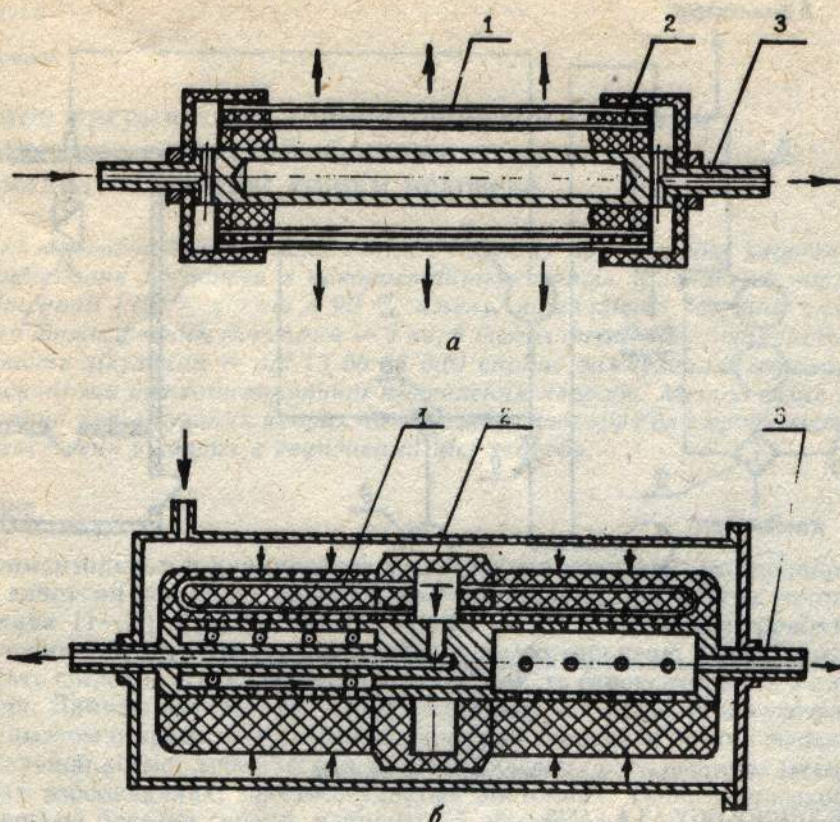
Однак окрім проникності та селективності полімерних матеріалів при створенні промислових мембран необхідно враховувати ще й такий фактор, як доступність та вартість сировини, а також вартість і складність виготовлення мембран. Виходячи з цієї точки зору, перевагу можна віддати таким полімерам, як полівінілтриметилсилан, полісульфон або полі-4-метилпентен-1. Із деяких з названих вище полімерів виготовляються мембрани у вигляді порожнистих волокон, характерною особливістю яких є наявність безперервного каналу в центрі волокна.

Для забезпечення ефективної роботи газороздільні мембрани розміщують в мембранні пристрої (модулі, апарати) — конструктивно оформлені елементи мембранного устаткування, які виконують захисну функцію по відношенню особисто до мембрани і функцію організації потоків газу безпосередньо біля поверхні мембрани. Апарати на основі порожнистих волокон, як правило, складаються з десятків або сотен тисяч порожнистих волокон, утворюючи таким чином велику поверхню масообміну в одиниці об'єму апарату, що становить головну перевагу цієї форми мембран.

Конструкція газороздільних апаратів повинна забезпечити не тільки високу щільність упакування волокон, герметичність та можливість механічного укладення (намотування) волокон, але й порівняно просте їх складання та вигідний режим роботи. Розділювана газова суміш подається в простір між волокнами, а з капілярів (отворів у волокні) виходить збагачена високопроникним компонентом суміш та навпаки (мал. 1 а, б).

В Українському НДІ штучних волокон (УкрНДІШВ) розроблені та виробляються в умовах дослідного виробництва газороздільні апарати та на їх основі газороздільні установки з різною поверхнею масообміну та широким діапазоном робочого тиску [8]. Для виробництва газороздільних апаратів використовуються порожнисті селективно проникні волокна з полі-4-метилпентену-1, синтетичного полімеру, який виробляється серійно на підприємствах СНД та закордоном (фірма «MITSUY PETROKEMICAL INC», Японія). Технологія формування порожнистих волокон опрацьована на виробничому прядильному устаткуванні підприємств хімічних волокон України.

Конструкція розроблених в УкрНДІШВ газороздільних апаратів дозволяє комплектувати ними різні установки нормобаричної гіпоксії — від індивідуальних до колективного користування з урахуванням потреб замовника (місткість камери, робочий тиск джерела стисненого повітря та ін.). Принципова схема установки нормобаричної гіпоксії наведена на мал. 2.



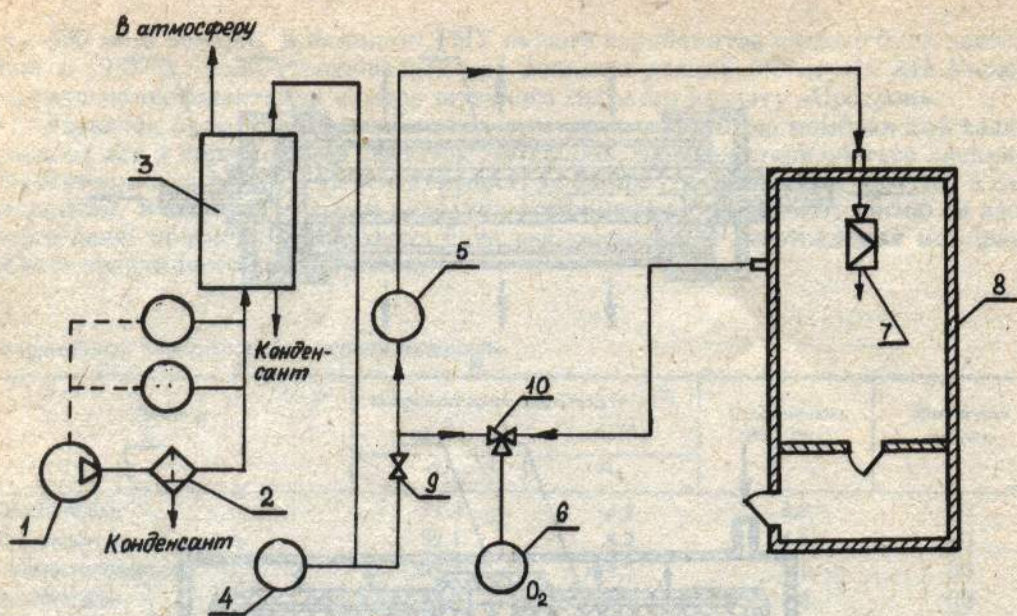
Мал. 1. Схема газороздільних апаратів, створених на основі порожнистих волокон:

a — подача повітря в капіляри порожнистих волокон, *b* — подача повітря в міжволоконний простір; 1 — порожність волокна, 2 — блок-колектор з герметика; 3 — опорний стержень.

Мембранна установка розділення газів для нормобаричної гіпоксії складається з таких частин: джерело стисненого повітря (компресор, 1), мембранний газороздільний апарат, створений на основі порожнистих волокон (3), системи контролюючої та регулюючої тиск апаратури (4, 5, 9, 10) та контролю складу газової суміші (6). Стиснене повітря з компресора (1) через фільтр (2) подається в міжволоконний простір газороздільного апарату (3). Завдяки селективним властивостям матеріалу порожнистих волокон кисень повітря проходить через стінку волокна, збирається у каналах та виводиться з апарату, а збіднена киснем газова суміш надходить через кондиціонер (7) в герметичний бокс для пацієнтів (8). Необхідний вміст кисню в суміші, яка надходить в бокс, встановлюється шляхом зміни витрати суміші за допомогою регулюючого вентиля (9). Вміст кисню контролюють за допомогою автоматичного газоаналізатора (6), витрати — за допомогою витратоміра (5), тиск — за допомогою манометра (4). Триходовий кран (10) служить для перемикання газоаналізатора (6) на контроль газової суміші після газороздільного апарату або газової суміші з боксу.

Експлуатація мембранної установки нормобаричної гіпоксії колективного користування «Оротрон» протягом 6 р. показала, що газороздільні апарати, створені на основі порожнистих волокон з полі-4-метилпентену-1, надійні в роботі та практично не потребують технічного обслуговування. Також встановлено, що газороздільні властивості порожнистих волокон за цей період залишилися без змін.

На цей час до серійного виробництва готуються установки нормобаричної гіпоксії індивідуального користування на 1—2 місця, які з успіхом можуть використовуватися в різних медичних закладах і на підприємствах для профілактики здоров'я працюючих.



Мал. 2. Принципова схема установки нормобаричної гіпоксії. Пояснення в тексті.

V. N. Rozhanchuk, N. N. Pukh, I. S. Samsonova, V. K. Osokina

MEMBRANE TECHNOLOGY AS A BASIS FOR CREATION OF TREATMENT-AND-PROPHYLACTIC EQUIPMENT FOR ORRHOTHERAPY AND NORMOBARIC HYPOXIA

The principles of membrane technology of gas distribution have been considered, that has a wider adoption in different branches of economy and in medicine. One of the promising trends of membrane technology employment is production of respiratory gas mixtures for hypoxotherapy, non-medicamental method to increase the human organism resistance to numerous pathogenetic environmental factors. Gas distributors and devices with different surface mass exchange and wide range of operating stress using hollow selectively permeable fibers of poly-4-methylpentene-1 are designed and produced under conditions of scientific productions. The technology of hollow fibers formation has been tried out on production spinning machinery of enterprises of chemical fibers in Ukraine. Design of gas distributors permits supplying them as a part of different devices of normobaric hypoxia from individual ones to devices of joint use allowing for customer's demands.

Ukrainian Research Institute
of Artificial Fibers, Kiev.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волокна с особыми свойствами / Под. ред. Вольфа Л. А. — М.: Химия, 1980. — 240 с.
2. Дроздов П. Н., Носырев С. А. Тезисы докл. 8-й Всесоюз. кон. по методам получения и анализа высококачественных веществ, май 1988. — Горький, 1988. — С. 16—17.
3. Дургарьян С. Г., Беляков В. П. Мембранная технология — новое направление в промышленном газоразделении // Химич. и нефт. машиностроение. — 1981. — № 1. — С. 15—36.
4. Дытнерский Ю. И., Брыков В. П., Каграманов Г. Г. Мембранное разделение газов. — М.: Химия, 1991. — 342 с.
5. Караш Ю. М., Стрелков Р. Б., Чижов А. Я. Нормобарическая гипоксия. — М.: Медицина, 1988. — 26 с.
6. Рейтлингер С. А. Проницаемость полимерных материалов. — М.: Химия, 1974. — 269 с.
7. Стерн Н. А. Процессы проникания газов. Технологические процессы с применением мембран. — М.: Мир, 1976. — 340 с.
8. А.с. 1470002 СССР, МКИ⁴ (шифр) Климатическая камера / В. А. Березовский, В. Н. Рожанчук, Н. И. Журавленко, Н. Н. Пух. — Оpubл. число. — 88, Бюл. №

Укр. наук.-дослід. ін-т.
штучних волокон, Київ

Матеріал надійшов
до редакції 17.06.92