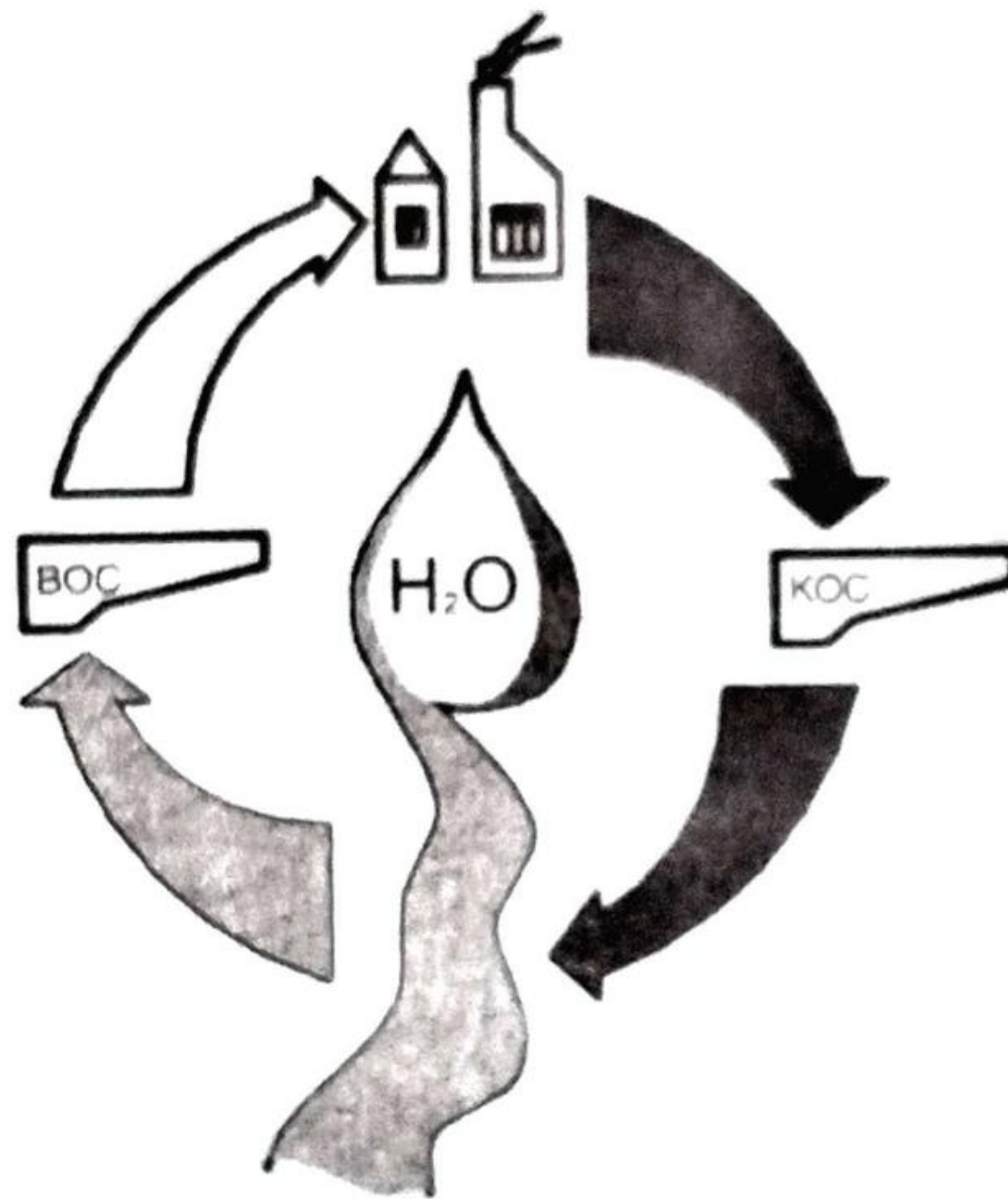


ПРОБЛЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ ТА ГІДРАВЛІКИ



**Науково-технічний збірник
Випуск 9**

Київ 2007

ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	5
<i>Тугай А.М., Могілевська К.І. Кольматаж водозабірних свердловин та способи їх регенерації.....</i>	5
<i>Шевчук Е.А., Мамченко А.В., Поляков В.Л. Интенсификация процесса многоступенного фильтрования за счет механического перемешивания промежуточного фильтрата.....</i>	11
<i>Ткачук О.А., Шевчук Ю.Ф., Оленю М.І., Каланча С.В., Шевчук А.Ю. Моделювання процесів формування якості питної води в м. Чернівці.....</i>	18
<i>Анпілогов П.І., Михайленко В.М., Анпілогов А.П., Кошарна Ю.В.. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста.....</i>	26
<i>Василенко С.Л., Трофимчук А.Н., Анпилова Е.С. Аналитико-статистический подход к моделированию трансформации загрязняющих веществ в зоне смешения речной и возвратной воды.....</i>	35
<i>Камченко М.В., Гапула О.В., Величенко О.П., Заграй Я.М. Дослідження процесів в системі «напівпроникна мембрана-розчин» в технології підготовки питної води.....</i>	42
<i>Кризський М.М., Січкарь С.П. Київське і Канівське водосховища – сучасні поверхневі джерела водопостачання.....</i>	49
<i>Телима С.В.. Проблеми підтоплення південних районів України ґрунтовими водами. 3. До оцінки фільтраційних втрат із магістральних та розподільчих каналів.....</i>	57
<i>Новохатній В.Г., Матяш О.В. Надійність систем водопостачання без резервування з мережами розгалуженого типу.....</i>	69
<i>Калугін Ю.І., Сірий В.С., Курганська С.М. Особливості моделювання осушуючої дії дренажних двоярусних систем на основі числових розрахунків.....</i>	76
<i>Пікуль Ю.М. Особливості забору води в складних природних умовах.....</i>	82
<i>Прокопчук С.І. Шляхи підвищення ефективності роботи систем водопостачання та зниження собівартості води в умовах формування ринкових відносин.....</i>	87
ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	102
<i>Злобіна В.С., Аргатенко Т.В., Малько В.Ф. Конструкційно-енергетичні характеристики двох модифікацій анод-катодних блоків для електрохімічної очистки стічних вод.....</i>	102
<i>Степова Н.Г., Кушка О.М. Розрахунок економічної ефективності інноваційного проекту з очищення стічних вод.....</i>	110

М.В. КАМЧЕНКО, магістр

О.В. ГАПУЛА, ст. наук. співробітник

О.П. ВЕЛИЧЕНКО, ст. наук. співробітник

Я.М. ЗАГРАЙ, доктор хімічних наук, професор

Державний інженерно-екологічний комплекс Київського національного університету будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ «НАПІВПРОНИКНА МЕМБРАНА-РОЗЧИН» В ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ

В роботі розглянуто особливості застосування баромембранних процесів, зокрема зворотного осмосу, для вирішення проблеми локальної підготовки питної води нормативної якості.

На основі розробленої в Державному інженерно-екологічному комплексі (ДІЕК) теорії електролітів запропоновані методи теоретичного розрахунку коефіцієнтів активності компонентів розчину.

Наведена методика розрахунку практичних осмотичних коефіцієнтів та експериментально визначені осмотичні тиски розчинів NaCl в межах концентрацій 0,001-0,01н.

Однією із основних і гострих проблем екологічної безпеки взагалі і України зокрема є проблема забезпечення суспільства якісною питною водою. Використання для підготовки питної води часто не зовсім придатних джерел і незадовільний стан значної частини водопровідних мереж призводить до того, що споживачі змушені користуватись питною водою неналежної якості. В випадках виникає потреба запровадження локальних установок і апаратів для коригування питної води до нормативних показників якості. Для вирішення цієї проблеми можливо і доцільно використовувати процеси зворотного осмосу. Економічна ефективність таких технологій може бути забезпечена при налагодженні вітчизняного виробництва фільтраційних мембран для всього циклу фільтраційних процесів – мікро-, ультра-, нанофільтрації та зворотного осмосу. Особлива увага при цьому повинна надаватися створенню типорозмірного ряду мембран з урахуванням того, що для коригування складу води найбільш цікавими будуть процеси, які протікають в суміжних областях фільтраційних процесів, згідно з класичною схемою.

Зворотний осмос є одним із баромембранних методів, які вважаються ефективними при підготовці як питної води, в тому числі тієї, яка пройшла очистку на станціях централізованого водопостачання, так і води для технологічних процесів та технологічних середовищ, очищенні стічних вод.

Окрім цього, зворотний осмос широко застосовують у різних галузях промисловості, наприклад, медичній, харчовій тощо. Ефективність використання зворотного осмосу визначається перш за все його економічністю, а також можливістю видалення із мінеральних, органічних і біологічних забруднень до гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Метод зворотного осмосу полягає у здійсненні процесів під тиском в системі „напівпроникна мембрана – розчин”. З допомогою цього методу можна повністю видаляти задані компоненти (зворотній осмос у „чистому” вигляді) або видаляти ті чи інші компоненти, в залежності від задач, які ставляться до підготовки питної води (нанофільтрація, ультрафільтрація). В основі методу лежить явище осмосу – самочинного переходу розчинника через напівпроникну перегородку (мембрану) в розчин. Тиск, при якому настає рівновага між розчинником і розчином, називається осмотичним. Якщо з боку розчину прикласти тиск, що перевищує осмотичний, то переніс розчинника буде здійснюватись у зворотному напрямку, що і відобразилось у назві процесу „зворотний осмос”. В літературі відсутні узагальнюючі дані з розрахунку осмотичного тиску, а наведені в різних джерелах значення осмотичного тиску та осмотичних коефіцієнтів несистематизовані.

На рисунку 1 наведено принципову схему фільтраційних процесів.

Відсутність систематизованих даних про параметри осмотичних процесів ускладнює проведення розрахунків мембранних апаратів і систем для здійснення процесів зворотного осмосу, ультрафільтрації і нанофільтрації [1-3].

Для забезпечення можливості розрахунку осмотичного тиску в рівняння стану ідеального газу Вант-Гоффа введено поправочний коефіцієнт і в загальному випадку значення осмотичного тиску (π) визначається рівнянням:

$$\pi = icRT, \quad (1)$$

де c – мольна доля розчиненої речовини; R – газова стала; T – абсолютна температура, $^{\circ}K$; $i = 1 + \alpha'$ – коефіцієнт Вант-Гоффа з врахуванням числа частинок [2, 3].

Осмотичні коефіцієнти компонентів розчину безпосередньо пов'язані з активністю компонентів розчину і входять поряд з останньою до важливих термодинамічних параметрів процесів.

Слід прийняти до уваги, що активність a_i компонента i в розчині пов'язана з його хімічним потенціалом μ_i співвідношеннями:

$$\mu_i = \mu_i^0 RT \ln a_i; \quad (2)$$

$$a_i = \gamma_i c_i, \quad (3)$$

де γ_i – коефіцієнт активності компонента i в розчині; μ_i^0 – хімічний потенціал i -го компонента при $a = 1$.

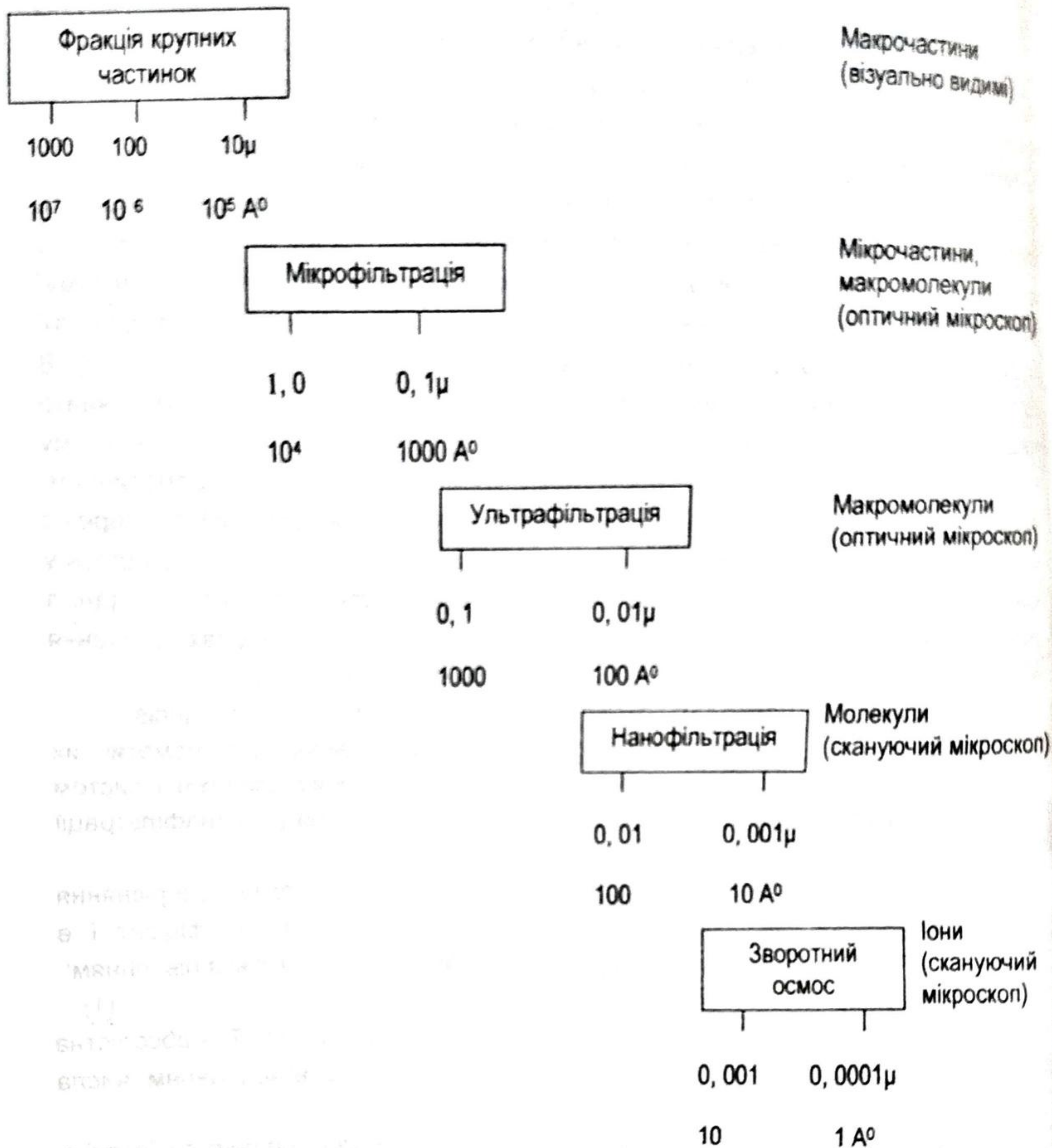


Рис. 1. Схема фільтраційних процесів

Теоретичний (раціональний) осмотичний коефіцієнт g визначається із співвідношення:

$$\mu_i = \mu_i^0 + gRT \ln c_i. \quad (4)$$

Тому різницю хімічних потенціалів $(\mu_i - \mu_i^0)$ записують у вигляді співвідношення:

$$\Delta\mu_i = RT \ln c_1 = RT \ln(1 - c_2) = -gRT \ln c_2, \quad (5)$$

де c_1 – мольна доля розчинника; c_2 – сумарна мольна доля розчиненої речовини.

Зазвичай вважають, що коефіцієнти g і γ характеризують відхилення реальної системи від ідеальної і відносять їх до розчинника.

Враховуючи, що c_2 можна визначити із співвідношення:

$$c_2 = \frac{\sum m_i M_s}{1000}, \quad (6)$$

де M_s – маса 1 моля розчинника; m_i – молярність розчину i -го компонента; $\sum$ – сума всіх розчинених речовин.

Співвідношення для різниці потенціалів має вигляд:

$$\Delta\mu_i = -RT \frac{\sum m_i M_s}{1000} \quad (7)$$

і при введенні в нього Φ (практичного осмотичного коефіцієнта) одержують рівняння, яке пов'язує між собою практичний і теоретичний коефіцієнти для не дуже концентрованих розчинів:

$$\Delta\mu_i = -\Phi RT \frac{\sum m_i M_s}{1000} \quad \text{та} \quad \Phi = - \frac{g \ln c_i}{\sum m_i M_s} 1000. \quad (8)$$

У відповідності із співвідношенням Б'єррума [2,3] зв'язуємо практичний осмотичний коефіцієнт з коефіцієнтом активності компонента в розчині:

$$d[m(1 - \Phi)] + m d \ln \gamma_{\pm} = 0 \quad (9)$$

і в інтегральній формі:

$$\Phi = 1 + \frac{1}{m} \int m d \ln \gamma_{\pm}, \quad (10)$$

де m – молярність розчину електроліта.

Для забезпечення цілісності вирішення проблеми використання процесів в системі «мембрана-розчин» науковцями ДІЕК КНУБА виконаний цикл робіт із створення теорії електролітів і, особливо, вирішення задачі розрахунку активності іонів в розчинах електролітів на основі континуальної теорії електрики [6,7].

В літературі загальноприйнятим є розгляд процесу зарядження іонів по типу конденсатора для розрахунку енергії іонів. Методи зарядження, засновані на існуючій науковій парадигмі, не дозволяють отримати послідовний опис активності іонів в розчині через відсутність теорії з визначенням методологічної межі змішаних теорій, заснованих на використанні як корпускулярних, так і польових уявлень. В будь-якому випадку необхідно розділити між собою джерела поля і саме поле та використати для послідовного розрахунку в змішаній теорії уявлення про заряд, що знаходиться в полі чи тілі, яке заряджається. При цьому взаємодія завжди інтерпретується з точки зору взаємодії точкових зарядів.

Континуальна теорія електрики по іншому підходить до вирішення задачі активності іонів в розчині, оскільки в ній відсутні відмінності між

поняттями точки поля і координат розміщення зарядів, які співпадають. Отже, не ставиться задача про взаємодію центрального заряду і поля дебаївської атмосфери, яке створюється іншим іоном.

Ідея континуальності передбачає відсутність джерела як матеріального носія електрики. Немає фіксованих тіл і тіл, що рухаються: існує континуальне електромагнітне поле, до якого не застосовуються механістичні уявлення, як і до вільного електромагнітного поля.

Обмежимося рівнянням, запропонованим в працях Дебая і Хюккеля [4, 5]:

$$\Delta U = \kappa^2 U, \quad (11)$$

де U – розподілення потенціалу електричного поля навколо центрального іона; κ^{-1} – дебаївський радіус екранування.

Співвідношення для розрахунку κ^2 у випадку бінарного електроліту має вигляд:

$$\kappa^2 = \frac{F^2 z^+ z^- (z^+ + z^-) c_0}{\epsilon \epsilon_0 R T}, \quad (12)$$

де F – стала Фарадея; z^+, z^- – валентності; c_0 – концентрація електроліта; ϵ_0 – діелектрична стала; ϵ – діелектрична проникність; R – газова стала; T – абсолютна температура.

Дане рівняння розглянуто як окремий випадок рівняння континуальної електродинаміки і застосовано методи континуальної електродинаміки до задач із визначення активності іонів і одержано співвідношення для розрахунку коефіцієнтів активності для розчинів електролітів:

$$\ln \gamma_i = \frac{1}{kT} \frac{z_i^2 e^2 k a_i}{8 \pi \epsilon \epsilon_0 a_i (1 + k a_i)}, \quad (13)$$

де z_i – валентності; ϵ_0 – діелектрична стала; ϵ – діелектрична проникність; R – газова стала; T – абсолютна температура; k – дебаївський радіус екранування; a_i – радіус i -го іона; $z_i e$ – потенціал кулонівського поля точкового заряду, k – стала Больцмана.

Часто використовуються середні значення коефіцієнтів активності іонів, у зв'язку з цим необхідно враховувати вплив іонів іншого сорту. Розрахунок у цьому випадку не відрізняється від наведеного вище і це дозволяє формально для іонів сорту j використовувати це співвідношення з індексом j і отримувати $\ln \gamma_{ij}$. Середній коефіцієнт активності визначається з використанням співвідношення:

$$\ln \gamma_{ij} = \frac{n_i \ln \gamma_i + n_j \ln \gamma_j}{n_i + n_j} = \frac{1}{n} \sum n_i \ln \gamma_i, \quad (14)$$

де n_i – число іонів сорту « i », на які розпалася молекула електроліту; n – число іонів в молекулі.

Врахування впливу гідратування іонів на значення коефіцієнтів активності визначається співвідношенням:

$$\ln \lambda_{C_i} = \frac{1}{kT} \frac{z_i^2 e^2}{8\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{a_i - b_i}{a_i b_i} \quad (15)$$

де a_i , b_i – відповідно, зовнішній і внутрішній радіуси гідратної оболонки іона.

З урахуванням гідратування іонів в якості радіуса іона у співвідношенні $\ln \gamma_i$ необхідно розглядати зовнішній радіус оболонки a_i , що дозволяє з більшою точністю описувати експериментальні дані і розраховувати необхідні параметри при конструюванні і створенні мембранних апаратів[6, 7].

Для порівняльних досліджень використовувались мембранні матеріали фірми „Rochem” (Німеччина) з відомими регламентованими параметрами та речовини, для яких вже відоме значення осмотичного тиску[2, 3].

Дані експериментальних досліджень залежності осмотичного тиску від концентрації NaCl наведені в таблиці і на рисунку.

Таблиця

**Значення експериментально визначеного
осмотичного тиску розчинів NaCl**

Концентрація NaCl, моль/л	0,001	0,0025	0,004	0,005	0,007	0,01
Осмотичний тиск, мм в. ст.	181	410	640	805	940	1355

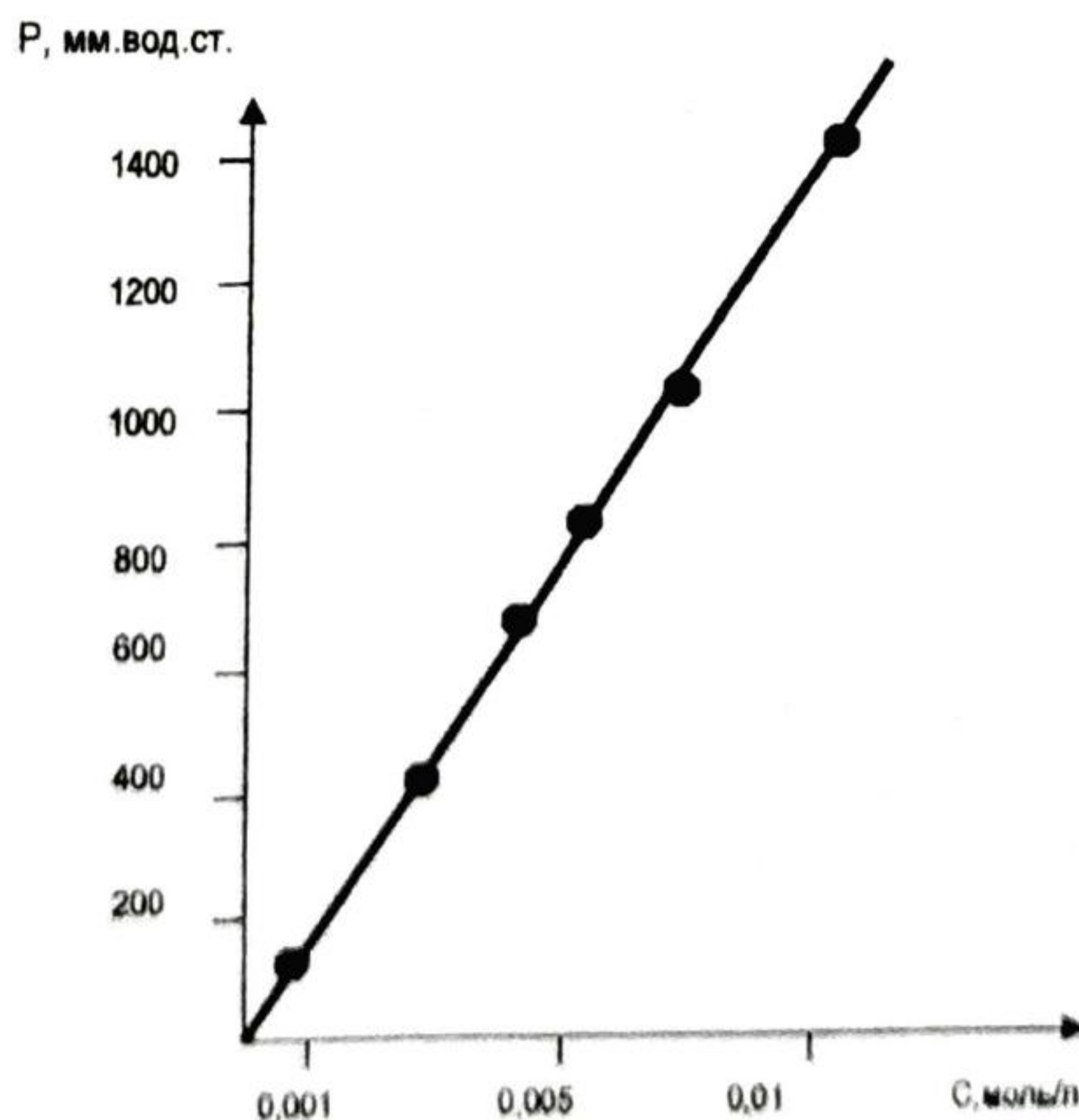


Рис. Залежність осмотичного тиску від концентрації

Список літератури

1. Капранов С.В., Титамир О.Н. Вода и здоровье.—Луганськ, 2006. – 185 с.
2. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. – М.: Химия, 1986.
3. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия, 1978. – 351 с.
4. Измайлов Н. А. Электрохимия растворов. М., 1975.
5. Чураев Н. В., Дерягин Б. В. Фізико - химические механизмы обратноосмотического разделения растворов // Журн. ВХО им. Д. И. Менделеева. – 1987. – Т. 32, №6.
6. И. Н. Симонов, Я. М. Заграй. Самосогласованные ионные системы. „Вища школа”, Київ, 1992. – 119с.
7. И. Н. Симонов. Континуальная электродинамика. УкрИНТЭИ, Киев, 2002. – 255с.