

УДК 628.16.081

Гулієнко Сергій Валерійович

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гулиенко Сергей Валериевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Hulienko Serhii

PhD in Engineering, Senior Lecturer of Department of Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Симан Іван Володимирович

магістрант кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Симан Иван Владимирович

магистрант кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Syman Ivan

Master Degree Student of Department of Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПУЛЬСАЦІЇ
НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЛЬСАЦИИ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИИ МЕМБРАННЫХ МОДУЛЕЙ**

**DETERMINATION OF PULSATION PARAMETERS EFFECT
TO EFFECTIVITY OF MEMBRANE MODULE REGENERATION**

Анотація. Проведено експериментальні дослідження щодо визначення параметрів пульсації на ефективність регенерації мембранних модулів. Встановлено, що ефективність регенерації (коефіцієнт регенерації) зростає зі збільшення маси промивного розчину, що набирається за один цикл регенерації, та кількості циклів, а також зменшується зі збільшенням тривалості витримки при розрідженні.

Ключові слова: мембранне розділення, концентраційна поляризація, опір, регенерація, осад.

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования по определению параметров пульсации на эффективность регенерации мембранных модулей. Установлено, что эффективность регенерации (коэффициент регенерации) возрастает с увеличением массы промывочного раствора, что набирается за один цикл регенерации, и количества циклов, а также уменьшается с увеличением продолжительности выдержки при разрежении.

Ключевые слова: мембранное разделение, концентрационная поляризация, сопротивление, регенерация, осадок.

Summary. The experimental research for determination of effect of pulsation parameters on regeneration effectivity of membrane modules was carried out. It was defined that effectivity regeneration (coefficient of regeneration) increase with mass of cleaning solution which takes in one pulsation cycle and number of cycles increasing and decrease with execution time under subatmospheric pressure.

Key words: membrane separation, concentration polarization, resistance, regeneration fouling, scaling.

Вступ. Сьогодні у всьому світі мембранні методи очищення стічних вод вже не викликають сумнівів у своїй ефективності і конкурентоспроможності. Значна кількість закордонних компаній виробляють різноманітні мембрани, мембранні модулі і установки очищення природної і стічної води на їх основі. Широке використання мембранних методів у багатьох промислових процесах можливе завдяки тому, що властивості мембран можуть бути адаптовані до технічних вимог, задоволення яких потрібне для успішного проведення цих процесів [1–2].

В процесі зворотного осмосу з часом відбувається забруднення мембран осіданнями зважених часток і погано розчинних сполук. Це призводить до зниження питомої продуктивності мембранної поверхні. Причиною цього являється виникнення біля поверхні мембрани, з напірного боку, концентраційного поляризаційного шару, що перешкоджає проходженню фільтрату крізь мембрану [3]. Механічні і колоїдні частки в таких умовах мають тенденцію до укрупнення і утворення агрегатів, які можуть відкладатися на мембрані, блокуючи її. Неконтрольований процес накопичення таких оса-

дів при неправильній експлуатації установки може швидко привести до безповоротного погіршення характеристик мембранних апаратів [4].

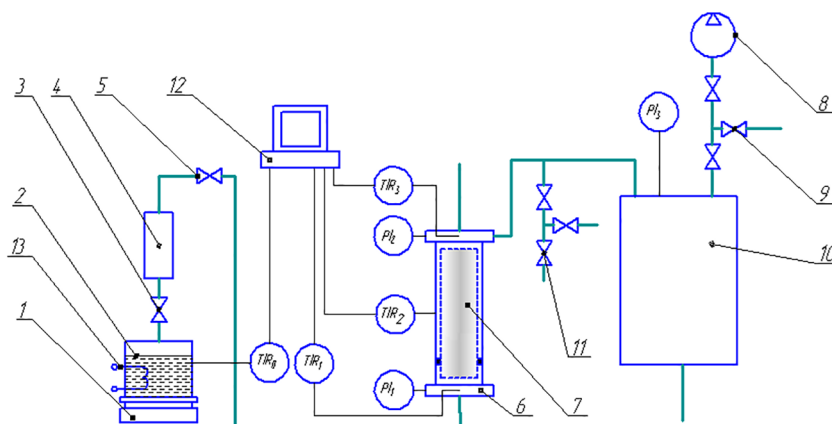
Існуючі методи очистки мембран недостатньо ефективні, тому було запропоновано використовувати пульсації [5], але вплив параметрів пульсації на ефективність регенерації був розглянутий лише поверхнево.

Метою даного дослідження є встановлення впливу параметрів пульсації на ефективність регенерації.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось на мембранах Dow Filmtec. В якості промивного розчину використовувалась знесолена вода (загальний солевміст (TDS) — 10–25 ppm). В якості тестового розчину також використовувалась знесолена вода. Для перевірки селективності мембран використовувалась водопровідна вода (TDS — 190–225 ppm).

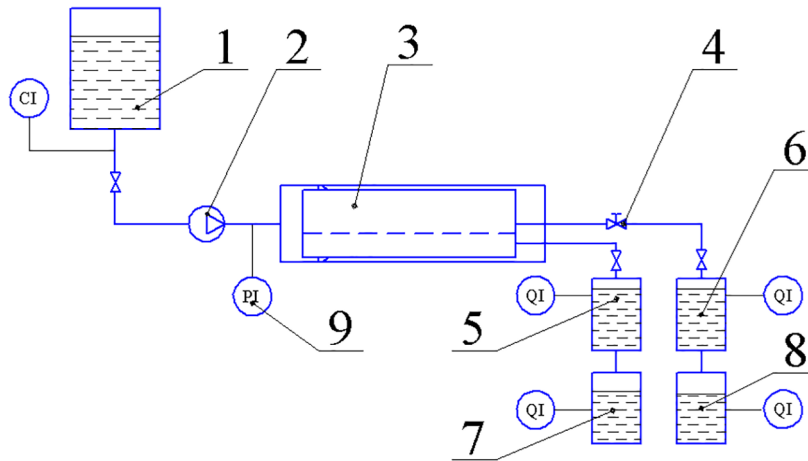
Для регенерації мембран використовувалась існуюча установка [5], схема якої зображена на рисунку 1. Для перевірки ефективності регенерації мембран використовувалась інша установка [5], схема якої зображена на рисунку 2.

Порядок проведення експериментальних досліджень був наступний. Мембранний модуль 7 встанов-



1 — ваги; 2 — ємність з промивним розчином; 3,5 — регульовальний кран; 4 — ресивер; 6 — промивна камера; 7 — мембранний модуль; 8 — вакуум-насос; 9 — кран з'єднання з атмосферою; 10 — проміжна ємність; 11 — відбір проб промивного розчину, 12 — персональний комп'ютер; 13 — нагрівач.

Рис. 1. Схема експериментальної установки для проведення регенерації



1 — ємність з початковим розчином; 2 — насос; 3 — мембранний апарат з рулонованим модулем; 4 — регулювальний кран; 5 — ємність вимірювання витрат пермеату; 6 — ємність для вимірювання витрат ретентату; 7 — збірник пермеату; 8 — збірник ретентату; 9 — манометр

Рис. 2. Схема експериментальної установки для перевірки ефективності регенерації рулонованих мембранних модулів

лювався в промивну камеру 6, регулювальні крани 3 та 5 закривалися, вмикався вакуум-насос 8 і досягалася розрідження в проміжній ємності 10 на рівні 0,092–0,098 МПа (абсолютний тиск становив 0,008–0,002 МПа відповідно). Промивний розчин із заданою концентрацією та температурою заливався в ємність 2. Після цього відривалися регулювальні крани 3 та 5 і встановлювалася необхідна витрата промивного розчину. Під дією перепаду тиску в ємностях 2 та 10 здійснюється течія промивного розчину через промивну камеру 6 та мембранний модуль 7, в ході чого відбувається масообмін між твердою фазою шару осаду на поверхні мембрани та рідкою фазою промивного розчину. По черзі варіювалися кількість промивного розчину, час витримки та кількість пульсацій.

Питома продуктивність визначалася об’ємним методом, тобто вимірюванням витрат пермеату та ретентату за певний проміжок часу до та після регенерації.

Результати і обговорення. Результати експериментальних досліджень узагальнено шляхом роз-

рахування коефіцієнта регенерації і представлено на графіках.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від кількості промивного розчину зображено на рисунку 3. Параметри пульсації: число циклів пульсації $n_i = \text{const}$, тривалість витримки при розрідженні $\tau_i = \text{const}$, маса промивного розчину $m_i = 0,05–0,25$ кг.

Як видно з графіка, зі збільшенням кількості промивного розчину коефіцієнт регенерації зростає.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від часу витримки зображено на рисунку 4. Параметри пульсації: число циклів пульсації $n_i = \text{const}$, тривалість витримки при розрідженні $\tau_i = 30–150$ с, маса промивного розчину $m_i = \text{const}$.

Як видно з графіка, зі збільшенням часу витримки коефіцієнт регенерації зменшується.

Графік залежності коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації зображено на рисунку 5. Параметри пульсації: число циклів пульсації $n_i = 3–10$,

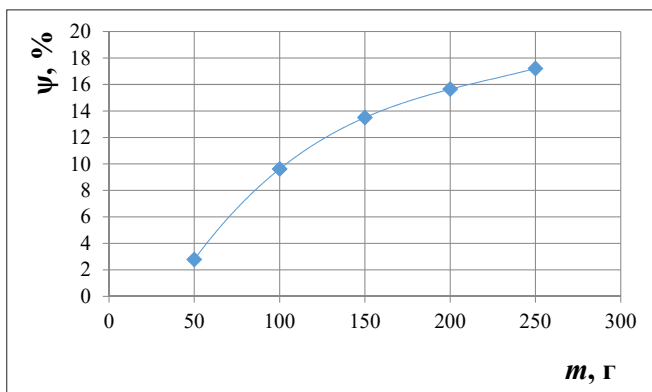


Рис. 3. Залежність коефіцієнта регенерації від кількості промивного розчину

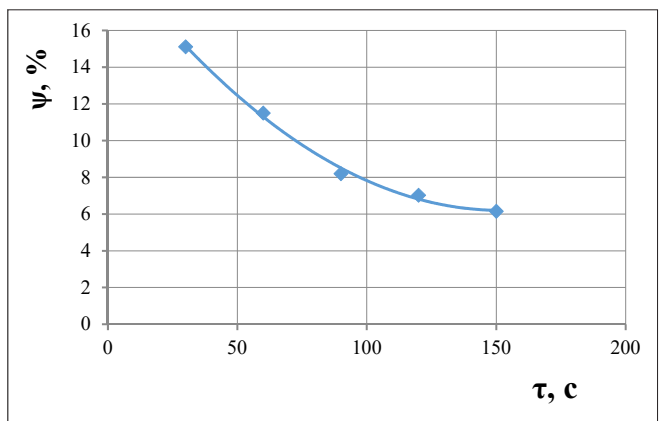


Рис. 4. Залежність коефіцієнта регенерації від часу витримки

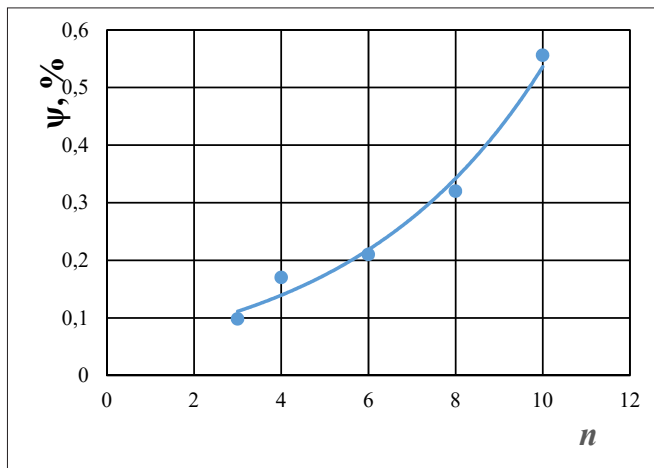


Рис. 5. Залежність коефіцієнта регенерації від числа циклів пульсації

тривалість витримки при розрідженні $\tau_i = \text{const } c$, маса промивного розчину $m_i = \text{const}$.

Як видно з графіка, зі збільшенням числа циклів пульсації коефіцієнт регенерації зростає.

Висновки. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування пульсацій підвищують ефективність регенерації мембранних модулів. Крім того, існує можливість підбирати найбільш раціональні режими проведення процесу регенерації, які будуть відповідати вищим значенням маси промивного розчину, що набирається за один цикл пульсації, та кількості циклів пульсації, та меншим значенням тривалості витримки при розрідженні.

Література

1. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішко-ва-Кліменко, І. М. Астрелін. — К.: Лібра, 2000. — 552 с.
2. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 513 с. ил.
3. Shirazi S., Lin C.-J., Chen D. Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes — A critical review / Desalination. — 2010. — Vol. 250. — p. 236–248.
4. Орестов Є. О. Мітченко Т. Є. Фізикохімічні основи дії інгібіторів флулінгу мембран зворотного осмосу та шляхи їх оптимального використання // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. — 2013. — № 2(12). — с. 3–17.
5. Гулієнко С. В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к. т. н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ». — 2016. Гулієнко С. В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к. т. н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ». — 2016.
6. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності регенерації забруднених рулонованих мембранних модулів / Я. М. Корнієнко, С. В. Гулієнко, О. В. Григоренко // Наукові парці ОНАХТ. — 2014. — Випуск 45. — Т. 3 — с. 101–104.