

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202002-242>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/242>

УДК 628.1

РЕЗУЛЬТАТИ АПРОБАЦІЇ НАПІВЕМПІРИЧНОЇ МОДЕЛІ З ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА ІЗ ЗЕРНИСТИМ ЗАВАНТАЖЕННЯМ

Д.В. Чарний¹, докт. техн. наук, Є.М. Мацелюк², канд. техн. наук, Ю.А. Онанко³, аспірант

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6150-6433>; e-mail: dmitriych10@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
e-mail: evgen1523@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7231-1188>; e-mail: yaonanko1@gmail.com

Анотація. Проведене обстеження системи водокористування державного підприємства, що займається переробкою сільськогосподарської продукції, дозволило встановити технологічні процеси, які спричиняють біообростання трубопроводів колоїдними включеннями (головним чином конгломератами фітопланктону з синьо-зелених водоростей). Впровадження заходів, які здатні захистити діючі технологічні споруди від потрапляння на них значних мас фітопланктону, є актуальною задачею, яка може бути вирішена за допомогою механічних фільтрів. Ефективність роботи попередніх фільтрів із зернистим фільтрувальним завантаженням дуже залежить від властивостей фільтруючого завантаження. У разі фільтрувального завантаження з гранул спіненого полістиролу харчових марок затримка фітопланктону відбувається доволі ефективно завдяки фізичній адсорбції конгломератів ціанобактерій на поверхні цих гранул. Шляхом застосування розробленої в ІВПіМ НААН напівемпіричної моделі здійснено вибір оптимальних конструктивних та технологічних параметрів фільтра з пінополістирольним завантаженням. Це дозволило розробити конструкцію прояснювального фільтра – затримувача фітопланктону для очистки оборотних вод підприємства Червонослобідський спиртзавод. Застосування розробленої конструкції фільтра дозволяє зменшити будівельні витрати та спрощує конструкцію фільтра, що своєю чергою, збільшує її надійність та загальний період експлуатації. Практичне застосування даного фільтра забезпечило необхідний рівень затримки клітин та конгломератів ціанобактерій з очищуваних вод. Дана конструкція відрізняється від стандартної збільшеною у 1,5 рази товщиною шару фільтрувального завантаження. Це дозволило у 2 рази подовжити тривалість фільтроциклу і, одночасно, не збільшило об'єм промивної води, тобто експлуатаційні витрати. Економічна ефективність наших розробок підтверджена порівнянням вартості впроваджених систем з ринковими пропозиціями – перевага наших систем становить понад 30%.

Ключові слова: водопідготовка, пінополістирол, зернисте завантаження, фільтрування, фітопланктон, напівемпірична модель.

Актуальність. У зв'язку з кліматичними змінами та провокованими ними пониженнями рівнів води в річках, а також унаслідок інтенсифікації розвитку фітопланктону відбулося суттєве підвищення, за рахунок органічних включень, каламутності води, яка подається на водоочисні споруди.

З метою недопущення біообростання трубопроводів вирішено передбачити можливість механічного вилучення подібних колоїдних включень (головним чином конгломератів фітопланктону з синьо-зелених водоростей). Відповідно, впровадження заходів, які здатні захистити діючі технологічні споруди від потрапляння на них значних мас фітопланктону, є актуальною задачею, яка може бути вирішена за допомогою фізико-

механічних чинників. До них належать зернисті попередні фільтри [1–6], які затримують фітопланктон за рахунок адсорбційної здатності фільтрувального завантаження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Було експериментально досліджено електродинамічні властивості колоїдів біологічного походження на прикладі фітопланктону (головним чином конгломератів ціанобактерій (синьо-зелених водоростей)), зразки якого були відібрані з поверхневих природних вод у районі Дніпровського водозабору м. Києва. Виміряне значення його ζ -потенціалу склало -13 мВ. Пінополістирол є хімічно інертним завантаженням із додатним ζ -потенціалом, що складає $+2$ мВ [7; 8]. Природний цеоліт-клінопти-

лоліт має від'ємне значення ζ -потенціалу, що дорівнює -33 мВ [9–11].

Прикріплення колоній ціанобактерій на твердих агарових поверхнях у чашках Петрі до полістирольних дисків описане як метод реплікації для виявлення гідрофобних мікроорганізмів [12]. Наші експериментальні дослідження підтвердили існування ефекту електростатичної адсорбції ціанобактерій до поверхні пінополістиролу [13]. Дані наукових досліджень свідчать про те, що гідрофобність досить важлива у життєвому циклі ціанобактерій [14]. Однак не можна стверджувати, що гідрофобність є єдиним механізмом адгезії ціанобактерій. Вже відомі наукові дослідження, які доводять значну роль полімерних мостів у процесі адгезії бактерій до твердих поверхонь. Види ціанобактерій, за якими спостерігається взаємне злипання, як при утворенні пучка в *Oscillatoria* (*Trichodesmium*) *erythraea* або при утворенні великих колоніальних агрегатів (*Microcystis* sp.), можуть представляти ще один аспект здатності ціанобактерій чіплятися до твердої поверхні, у цих випадках – поверхні клітин подібних ціанобактерій. Гідрофобність у деяких ціанобактерій змінюється фенотипічно, як функція віку культури або у ціанобактерій, що формують гормогонії при перетворенні гормогоній у зрілі волокна. Певні види ціанобактерій можуть змінювати своє положення в товщі води у відповідь на менш оптимальні зовнішні умови, шляхом зміни своєї плавучості, за допомогою внутрішньоклітинних газових вакуолей або своїх гранул зберігання. Це може заважати процесу прокачування ціанобактерій через об'єм фільтра.

Мета досліджень полягає в практичному застосуванні розробленої напівемпіричної моделі для вибору оптимальних конструктивних та технологічних параметрів фільтра із зернистим завантаженням при конкретних якісних показниках очищуваних вод і умовах проведення процесу фільтрування. Для досягнення поставленої мети потрібно було експериментально підтвердити ефективність роботи зернистих фільтрів при конструктивних та технологічних параметрах, прийнятих із застосуванням розробленої математичної моделі на реально діючому підприємстві.

Матеріали і методи дослідження. Натурні та лабораторні експериментальні дослідження фізико-хімічних параметрів досліджуваних водних суспензій; фізико-математичне, емпіричне, теоретичне та напівемпіричне моделювання процесів фільтрування і очищення водних суспензій за допомогою фільтрувального завантаження з гранул пінополіс-

тиролу і цеолітового дрібняку; використання чисельних і аналітичних методів, а також алгоритмів оптимізації роботи нейронних мереж для визначення оптимальних конструктивних та технологічних параметрів фільтра із зернистим завантаженням; використання дослідних даних, отриманих у виробничих умовах, для апробації розробленої математичної моделі.

Результати дослідження. Для більшої наочності представлення отриманих результатів застосування напівемпіричної моделі процесу фільтрування водної суспензії через фільтр із зернистим завантаженням для поліпшення оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу у виробничому циклі підприємства було побудовано стереоекції розподілу параметрів оптимальності застосування фільтрів із досліджуваними зернистими завантаженнями, які представлено на рис. 1.

На стереоекції пінополістирольного фільтра спостерігається концентрація максимальних значень навколо центру стереоекції, тоді як на стереоекції цеолітового фільтра спостерігається розділення максимумів на 4 частини та їх розміщення на периферії даної стереоекції. Отже, за даних умов проведення математичного моделювання фільтр із пінополістирольним завантаженням є найбільш оптимальним для оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу.

Дані відмінності розподілів максимумів на модельних стереоекціях досліджуваних фільтрів пов'язані з тим, що на початковій стадії фільтрування водної суспензії, що містить ціанобактерії, більш ефективним є пінополістирольний фільтр. Причинами цього є різниця знаку ζ -потенціалу адсорбенту та адсорбату, а також особливості циклу життєдіяльності ціанобактерій, що прагнуть іммобілізуватися на рівній та твердій поверхні гранул пінополістиролу. Крім того, у випадку фільтрування ціанобактерій, цеолітове фільтрувальне завантаження потребує значно більших фінансових витрат на промивку та регенерацію і тому фільтр із ним є менш оптимальним.

Шляхом застосування розробленої напівемпіричної моделі процесу фільтрування водної суспензії через фільтр із зернистим завантаженням, при зазначених вище умовах фільтрування, була визначена оптимальна швидкість фільтрування 20 м/год, що підтверджується наведеним на рис. 2 графіком модельних та експериментальних значень залежності ефективності фільтрування C_f від зміни концентрації ціанобактерій C_u у фільтраті.

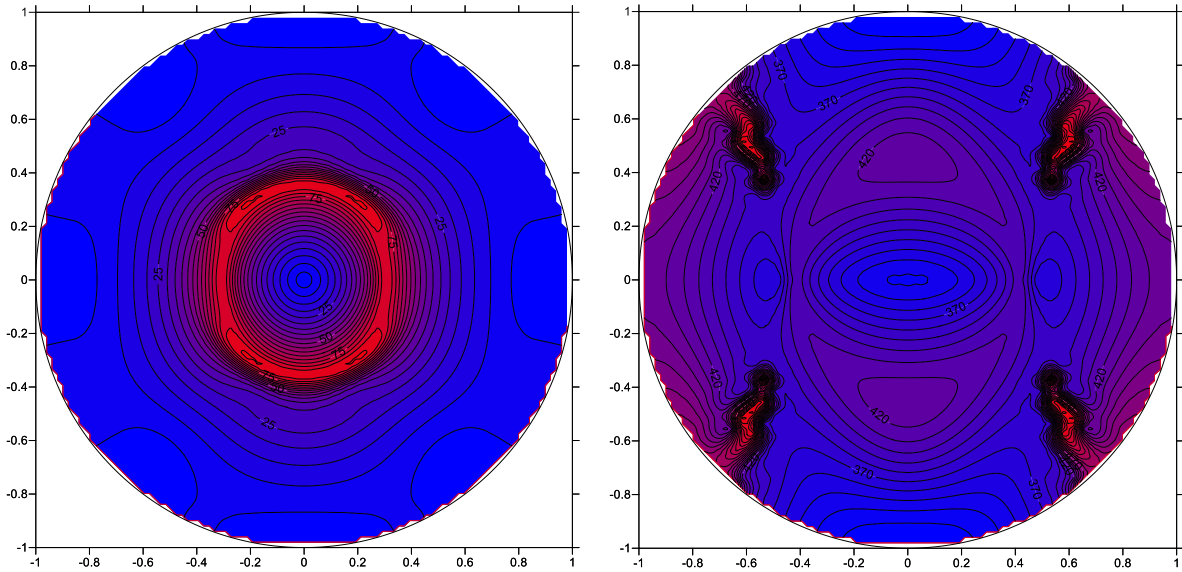


Рис. 1 Модельні стереоекції розподілу параметрів оптимальності застосування пінополістирольного (а) та цеолітового (б) фільтрів для оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу

Таке значення оптимальної швидкості фільтрування пов'язано з тим, що через пониження рівня води на водозаборі, крім фітопланктону, у фільтр можливе потрапляння суттєвих мас мулоподібних включень. Відповідно при витраті близько $120 \text{ м}^3/\text{год}$ отримаємо загальну площу фільтрів:

$$\omega = \frac{Q}{V} = \frac{120}{20} = 6 \text{ м}^2, \quad (1)$$

де ω – площа, м^2 ; Q – витрата, $\text{м}^3/\text{год}$; V – швидкість фільтрування, $\text{м}/\text{год}$. Відповідно, згідно із вимогами [15] одержуємо необхідність у двох робочих фільтрах діаметром 2 м.

Отже, застосування розробленої напівемпіричної моделі процесу фільтрування водної суспензії через фільтр із зернистим завантаженням дозволило визначити оптимальні конструктивні та технологічні параметри фільтрів для механічного вилучення клітин

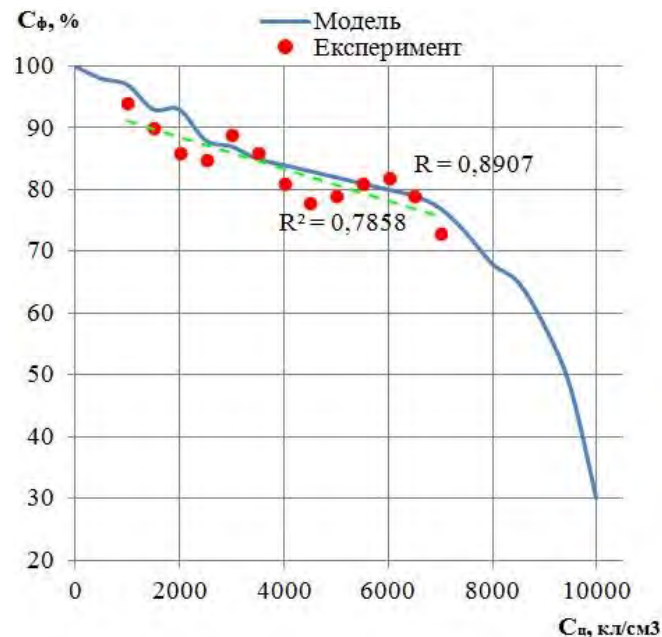


Рис. 2 Модельні та експериментальні значення залежності ефективності фільтрування C_ϕ від зміни концентрації ціанобактерій C_ψ у фільтраті

фітопланктону із води, що використовується в процесі оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу. Визначені таким чином оптимальні значення основних конструктивних та технологічних параметрів процесу фільтрування водної суспензії через фільтр із зернистим завантаженням наведено у таблиці 1.

На основі визначених конструктивних та технологічних параметрів було розроблено та спроектовано конструкцію прояснювального фільтра-затримувача фітопланктону для оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу. У нижній частині фільтра розміщують нижню дренажу систему у вигляді несправжнього

дна, обладнаного шпаровими ковпачками. Вона забезпечує надходження вихідної води на фільтрування і скид промивної води під час промивки фільтра. Гранули фільтрувального завантаження утримуються від спливання несправжнім дном верхнього дренажу, що обладнане зворотними фільтрами – шпаровими ковпачками. Відфільтрована вода збирається в надфільтровому просторі між несправжнім дном і верхньою частиною корпусу фільтра, звідки трубопроводом надходить до споживачів.

Викладена суть конструкції фільтра пояснюється кресленням (рис. 3), на якому показаний запропонований напірний фільтр. Напірний фільтр змонтовано у герметичному

1. Значення основних конструктивних та технологічних параметрів фільтрів, визначені шляхом застосування розробленої напівемпіричної моделі

№ п/п	Назва параметра	Одиниця виміру	Значення
1	швидкість фільтрування	м/год	20
2	діаметр гранул фільтруючого шару	мм	2,0...5,0
3	товщина фільтруючого шару	м	1,5
4	інтенсивність подачі промивної води	л/(с·м ²)	10...12
5	тривалість промивки	хв	2...3

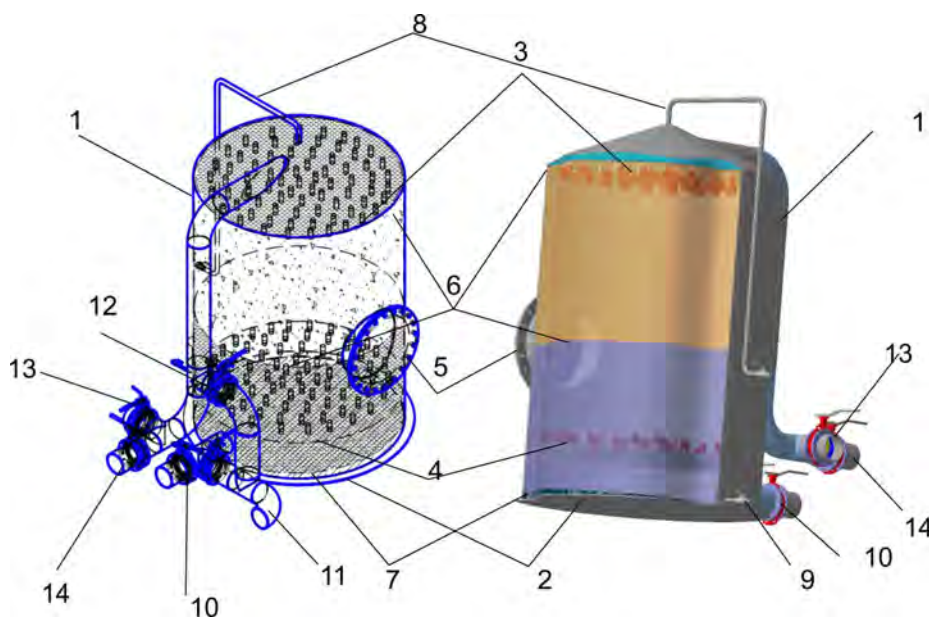


Рис. 3 Схема розробленого прояснювального фільтра-затримувача фітопланктону для оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу:

1 – верхня конусна або еліптична частина; 2 – днищева плита фільтра; 3 – верхній дренаж фільтра у вигляді несправжнього дна зі шпаровими ковпачками; 4 – нижній дренаж фільтра у вигляді несправжнього дна зі шпаровими ковпачками; 5 – монтажний люк; 6 – фільтрувальне завантаження з гранул пінополістиролу; 7 – бетонна підливка на днищевій плиті для забезпечення ухилу для скиду застійної води під несправжнім дном; 8 – лінія відведення повітря; 9 – лінія сезонного скиду застійних вод з-під нижнього несправжнього дна; 10 – лінія надходження вихідної води із джерела водопостачання; 11 – лінія скиду промивної води; 12 – лінія скиду першого фільтрату; 13 – лінія надходження води на промивку; 14 – лінія відводу фільтрату на виробництво

циліндричному корпусі з верхньою конусною або еліптичною частиною 1 і нижньою днищевою плитою 2 із захисною бетонною підливкою 7. У верхній і нижній частинах корпусу розміщено верхнє 3 і нижнє 4 несправжнє дно з встановленими шпаровими ковпачками. У боковій частині корпусу розміщено монтажний люк 5. У середині корпусу, між верхнім і нижнім дном, розташовується шар із гранул фільтруючого завантаження 6. У надфільтровий простір – проміжок між верхнім несправжнім дном і конусною частиною фільтра введено трубопровід 14 для відведення очищеної води і забезпечення надходження промивної води.

Для введення у фільтр вихідної води і скиду промивної води в підфільтровий проміжок між днищевою плитою 2 і нижнім несправжнім дном 4 введено трубопровід 10. Скид першого фільтрату після промивки фільтра здійснюється по лінії 12. Відвід газів і повітря з фільтра здійснюється за допомогою трубопроводу 8, введеного у верхню частину конусної кришки фільтра. Відведення застійної води з підфільтрового простору здійснюється по лінії 9.

Напірний фільтр працює так: вихідна вода 10 через нижнє несправжнє дно 4 надходить у фільтрувальну камеру, де вона проходить крізь фільтрувальне завантаження 6. Оскільки переважна більшість колоїдів у вихідній воді, в тому числі і конгломерати ціанобактерій (синьо-зелені водорості), мають від'ємний заряд ζ -потенціалу, а поверхні гранул фільтрувального матеріалу мають позитивний заряд ζ -потенціалу, то відповідно до закону Кулона активно відбуваються процеси електростатичної адсорбції цих колоїдів на поверхні гранул фільтруючого завантаження 6. Відспливання гранули фільтруючого завантаження 6 утримуються за допомогою несправжнього дна 3, обладнаного зворотними фільтрами у вигляді шпарових ковпачків, розмір перфорації яких менший за діаметр гранул фільтрувального завантаження. Очищена завдяки процесам фізичної адсорбції вода збирається у надфільтровому просторі. Звідти по лінії 14 вода надходить до споживачів.

В процесі фільтрування затримуюча здатність фільтруючого завантаження 6 зменшується і виникає необхідність відновлення адсорбуючої спроможності фільтра. Ця проблема вирішується шляхом зняття адсорбованої на поверхні гранул фільтруючого завантаження 6 колоїдної плівки за рахунок механічного тертя, яке виникає в процесі зворотної промивки фільтруваль-

ного матеріалу в турбулентному потоці води. Турбулентний режим формується при необхідній інтенсивності промивання. Промивна вода потрапляє у верхній напірний колектор 14 по лінії 13. Далі вода проходить крізь зворотні фільтри несправжнього дна 3, розширює шар фільтрувального завантаження 6 та утворює турбулентний режим потоку. Він забезпечує інтенсивне механічне тертя поверхонь гранул одна об одну і, таким чином, знімає утворену колоїдну плівку з поверхонь гранул. Частки колоїдної плівки разом із потоком води виносяться з шару фільтрувального завантаження 6 і крізь шпарини ковпачків нижнього несправжнього дна 4 скидаються по трубопроводу 11. Після промивки фільтр знову переводиться в режим фільтрування і перший фільтрат скидається по лінії 12 у трубопровід скиду дренажної води 11. Після скиду першого фільтрату фільтр переключається в режим подачі фільтрату по лінії 14. Після промивки газу, що накопичилися в процесі роботи фільтра, скидаються відкриттям крану на лінії 8. На період тривалої зупинки воду з мертвої зони підфільтрової частини фільтра скидають за допомогою відкриття крану 9.

Застосування конструкції дренажу фільтра із верхнім та нижнім несправжнім дном дозволяє урівноважити та збалансувати гідродинамічний тиск водяного потоку всередині напірного фільтра. Крім того, такий конструктивний підхід зменшує будівельні витрати та спрощує конструкцію фільтра, що своєю чергою, збільшує її надійність та загальний період експлуатації.

Практичне застосування даного фільтра забезпечило необхідний рівень затримки клітин та конгломератів ціанобактерій з очищуваних вод. Ця конструкція відрізняється від стандартної збільшеною у 1,5 рази товщиною шару фільтрувального завантаження, що дозволило у 2 рази подовжити тривалість фільтраційного циклу і, одночасно, не збільшило об'єм промивної води, тобто експлуатаційні витрати.

Станом на 02.07.2020 р. капітальні витрати на спорудження фільтрів, розроблених за допомогою напівемпіричної моделі, склали близько 844482,54 грн. А річні експлуатаційні витрати становили близько 638604 грн. без врахування витрат на оплату роботи обслуговуючого персоналу. Відповідно, питомі експлуатаційні річні витрати на 1 м³ води становили – 0,61 грн./м³. При порівнянні з ринковими пропозиціями механічних фільтрів встановлено, що мінімальні приведені витрати забезпечує пінополістирольний

фільтр – затримувач фітопланктону. А річний економічний ефект від його використання становить – $EE = 1102,95683 - 765,27638 = 337,68045$ (тис. грн.).

Висновки. Результати розрахунків при використанні розробленої напівемпіричної моделі добре корелюють із нашим практичним досвідом розробки фільтрів із зернистим завантаженням.

За результатами застосування розробленої напівемпіричної моделі визначено конструктивні та технологічні параметри зернистих фільтрів для оборотного викори-

стання стічних вод спиртзаводу, що стали основою розробки нової конструкції фільтра для очистки води від клітин та колоній ціано-бактерій. Експериментально підтверджено високу ефективність роботи розробленої конструкції прояснювального фільтра – затримувача фітопланктону.

Застосування розробленого фільтра підвищує економічну ефективність оборотного використання стічних вод Червонослобідського спиртзаводу в 1,3–1,5 рази порівняно з ринковими пропозиціями механічних фільтрів.

Бібліографія

1. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ : Аграрна наука, 2008. 534 с.
2. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Москва, 2011. 536 с.
3. Мосійчук Я.Б., Хоружий В.П. Раціональні конструктивні і технологічні параметри установок для доочищення стічних вод у сільській місцевості // Меліорація і водне господарство. Київ, 2019. Т. 109, № 1. С. 74–81.
4. Martynov S., Kynytsky S., Orlova A. A simulation study of surface water purifying through a polystyrene foam filter // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, № 10(89). P. 19–26.
5. Мартинов С.Ю., Орлова А.М., Куницький С.О. Пінополістирольні фільтри в схемах контактного знезалізнення води // Науковий вісник будівництва. Харків, 2017. Т. 87, № 1. С. 148–151.
6. Квартенко О.М. Дослідження процесу знезалізнення підземних вод на фільтрах з різними типами наповнювачів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Київ, 2013. № 22. С. 46–56.
7. Greven A.-C., Merk T., Karagöz F. Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*): Nanoplastics' effect on the immune system of fish // Environmental Toxicology and Chemistry. 2016. Vol. 35, № 12. P. 3093–3100.
8. Чарний Д.В., Онанко Ю.А. Аналіз електростатичних властивостей пінополістирольного фільтрувального завантаження // Меліорація і водне господарство. Київ, 2019. Т. 110, № 2. С. 167–174.
9. Ozkan A. Investigation of coagulation and electrokinetic behaviors of clinoptilolite suspension with multivalent cations. Separation Science and Technology. 2017. Vol. 53. № 5. P. 823–832.
10. Kuzniatsova T. Zeta potential measurements of zeolite Y: application in homogeneous deposition of particle coatings. Microporous and Mesoporous Materials. 2007. Vol. 103. № 1–3. P. 102–107.
11. Jinkeun Kim. Characteristics of zeta potential distribution in silica particles. Bulletin of the Korean Chemical Society. 2005. Vol. 26. № 7. P. 1083–1089.
12. Rosenberg M. Bacterial adherence to polystyrene: a replica method of screening for bacterial hydrophobicity. Applied and Environmental Microbiology. 1981. Vol. 42. № 2. P. 375–377.
13. Onanko A.P., Kuryliuk V.V., Onanko Y.A., Kuryliuk A.M. Peculiarity of elastic and inelastic properties of radiation cross-linked hydrogels. Journal of Nano- and Electronic Physics. 2020. Vol. 12. № 4. P. 04026-1-04026-5.
14. Fattom A., Shilo M. Hydrophobicity as an Adhesion Mechanism of Benthic Cyanobacteria. Applied and Environmental Microbiology. 1984. Vol. 47. P. 135–143.
15. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с.

References

1. Khoruzhyi, P.D., Khomutetska, T.P., & Khoruzhyi, V.P. (2008). Resursozberihayuchi tekhnolohiyi vodopostachannya. [Resource-saving water supply technologies]. Kiev: Ahrarna nauka. [in Ukrainian]

2. Zhurba, M.H. (2011). Vodoochistnyye fil'try s plavayushchey zagruzkoy [Water purification filters with floating load]. Moscow. [in Russian]
3. Mosiichuk, Y.B., & Khoruzhyi, V.P. (2019). Ratsional'ni konstruktyvni i tekhnolohichni parametry ustanovok dlya doochyshchennya stichnykh vod u sil's'kiy mistsevosti [Rational construction and technological parameters of water treatment facilities in rural areas]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo – Land reclamation and water management, 109(1), 74–81. Kiev. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/mivg201901-167>.
4. Martynov, S., Kunytskyi, S., & Orlova, A. (2017). A simulation study of surface water purifying through a polystyrene foam filter. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(10(89)), 19–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109841>.
5. Martynov, S.Y., Orlova, A.M., & Kunytskyi, S.O., (2017). Pinopolistyrol'ni fil'try v skhemakh kontaktnoho znezalznennya vody [Polystyrene foam filters in contact water deironing schemes]. Naukovyy visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction, 87(1), 148–151. Kharkiv. [in Ukrainian]
6. Kvarthenko, O.M. (2013). Doslidzhennya protsesu znezalznennya pidzemnykh vod na fil'trakh z riznyimi typaramy napovnyuvachiv [Investigation of the process of groundwater deironing on filters with different types of fillers]. Problemy vodopostachannya, vodovidvedennya ta hidravliky – Problems of water supply, sewerage and hydraulic, 22, 46–56. Kiev. [in Ukrainian]
7. Greven, A.-C., Merk, T., & Karagöz, F. (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*): Nanoplastics' effect on the immune system of fish. Environmental Toxicology and Chemistry, 35(12), 3093–3100. <https://doi.org/10.1002/etc.3501>.
8. Charnyi, D.V., & Onanko, Yu.A. (2019). Analiz elektrostatychnykh vlastyivostey pinopolistyrol'noho fil'truval'noho zavantazhennya [Analysis of electrostatic properties of polystyrene foam filtration media]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo – Land reclamation and water management, 110(2), 167–174. Kiev. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/mivg201902-183>.
9. Ozkan, A., Sener, A., & Ucbeyiay, H. (2017). Investigation of coagulation and electrokinetic behaviors of clinoptilolite suspension with multivalent cations. Separation Science and Technology, 53(5), 823–832. <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1380669>.
10. Kuzniatsova, T., Kim, Y., Shqau, K., Dutta, P. K., & Verweij, H. (2007). Zeta potential measurements of zeolite Y: Application in homogeneous deposition of particle coatings. Microporous and Mesoporous Materials, 103(1–3), 102–107.
11. Jinkeun Kim, & Desmond F. Lawler. (2005). Characteristics of Zeta Potential Distribution in Silica Particles. Bulletin of the Korean Chemical Society, 26(7), 1083–1089. <https://doi.org/10.5012/bkcs.2005.26.7.1083>.
12. Rosenberg, M. (1981). Bacterial adherence to polystyrene: a replica method of screening for bacterial hydrophobicity. Applied and Environmental Microbiology, 42(2), 375–377.
13. Onanko, A.P., Kuryliuk, V.V., Onanko, Y.A., & Kuryliuk, A.M. (2020). Peculiarity of elastic and inelastic properties of radiation cross-linked hydrogels. Journal of Nano- and Electronic Physics, 12(4), 04026-1-04026-5. [https://doi.org/10.21272/jnep.12\(4\).04026](https://doi.org/10.21272/jnep.12(4).04026).
14. Fattom, A., & Shilo, M. (1984). Hydrophobicity as an Adhesion Mechanism of Benthic Cyanobacteria. Applied and Environmental Microbiology, 47, 135–143.
15. Vodopostachannya. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennya proektuvannya [Water-supply. External networks and buildings fundamental designing statements]. (2013). DBN V.2.5-74:2013. From 01th January 2014. Kyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny. [in Ukrainian]

Д.В. Чарный, Е.М. Мацелюк, Ю.А. Онанко

Результаты апробации полужемпирической модели по выбору оптимальных конструктивных и технологических параметров фильтра с зернистой загрузкой

Аннотация. Проведенное обследование системы водопользования государственного предприятия, занимающегося переработкой сельскохозяйственной продукции, позволило установить технологические процессы, вызывающие биообрастание трубопроводов коллоидными включениями (главным образом конгломератами фитопланктона из сине-зеленых водорослей). Внедрение мероприятий, которые способны защитить действующие технологические сооружения от попадания на них значительных масс фитопланктона, является актуальной задачей, которая может быть решена с помощью механических фильтров. Эффективность работы предварительных фильтров

с зернистой фильтрующей загрузкой сильно зависит от свойств фильтрующей загрузки. В случае фильтрующей загрузки из гранул вспененного полистирола пищевых марок задержка фитопланктона происходит достаточно эффективно благодаря физической адсорбции конгломератов цианобактерий на поверхности этих гранул. Путем применения разработанной в ИВПиМ НААН полумпирической модели осуществлен выбор оптимальных конструктивных и технологических параметров фильтра с пенополистирольной загрузкой. Это позволило разработать конструкцию осветительного фильтра – задержателя фитопланктона для очистки оборотных вод предприятия Червонослободский спиртзавод. Применение разработанной конструкции фильтра позволяет уменьшить строительные расходы и упрощает конструкцию фильтра, что, в свою очередь, увеличивает ее надежность и общий период эксплуатации. Практическое применение данного фильтра обеспечило необходимый уровень задержки клеток и конгломератов цианобактерий из очищаемых вод. Данная конструкция отличается от стандартной увеличенной в 1,5 раза толщиной слоя фильтрующей загрузки. Это позволило в 2 раза увеличить продолжительность фильтроцикла и, одновременно, не увеличило объем промывной воды, то есть эксплуатационные расходы. Экономическая эффективность наших разработок подтверждена сравнением стоимости внедренных систем с рыночными предложениями - преимущество наших систем составляет более 30%.

Ключевые слова: водоподготовка, пенополистирол, зернистая загрузка, фильтрование, фитопланктон, полумпирическая модель.

D.V. Charnyi, E.M. Matseliuk, Yu.A. Onanko

Results of the evaluation of the semi-empirical model on the selection of optimal constructive and technological parameters for a granulated loading filter

Abstract. A survey of the water use system at a state-owned enterprise processing agricultural products revealed the technological processes that cause biofouling of pipelines by colloidal inclusions (mainly phytoplankton conglomerates of blue-green algae). The implementation of measures that can protect existing technological structures against the ingress of significant masses of phytoplankton is an urgent task that can be solved with the help of mechanical filters. The efficiency of previous granulated loading filters depends very much on the properties of the filter loading. When filter loading is made of foamed polystyrene granules of food brands, phytoplankton retention is quite effective due to the physical adsorption of cyanobacteria conglomerates on the surface of these granules. By applying the semi-empirical model developed in IWPLR of NAAS, the optimal design and technological parameters of the filter with foam polystyrene loading were selected. That enabled to develop the design of a clarifying filter - a phytoplankton retainer for the treatment of circulating water at the enterprise Chervonoslobidsky distillery. The application of the developed filter design allows reducing the construction costs and simplifies the filter design, which in turn increases its reliability and overall service life. The practical application of this filter provided the required degree of retention of cyanobacteria cells and conglomerates from the treated water. This filter design differs from the standard with a 1.5 times increased filter loading layer. This enabled to double the duration of a filter cycle and, at the same time, did not increase the volume of flushing water, i.e. operating costs. The economic efficiency of our developments is proved by comparing the cost of implemented systems with market offers - the advantage of our systems is over 30%.

Key words: water treatment, foam polystyrene, granulated loading, filtration, phytoplankton, semi-empirical model.