

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

Волков Владлен Миколайович



УДК 628.16

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ШВИДКИХ
ФІЛЬТРІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ДРЕНАЖНИХ
СИСТЕМ**

05.23.04 – водопостачання, каналізація

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Карагяур Андрій Степанович,
Харківський національний університет будівництва та архітектури,
професор кафедри водопостачання, каналізації
і гідравліки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Прогульний Віктор Йосипович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
завідувач кафедри водопостачання та водовідведення

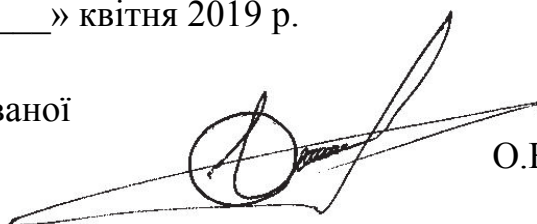
кандидат технічних наук
Куницький Сергій Олегович,
Національний університет водного господарства
та природокористування,
науковий співробітник науково-дослідної частини

Захист відбудеться «16» травня 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01 у Харківському національному університеті будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

Автореферат розісланий «___» квітня 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент



О.В. Гвоздецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Енерго- та ресурсозбереження є важливою проблемою при підготовці води для господарсько-питних потреб. Зменшення експлуатаційних затрат при роботі основного устаткування та споруд дозволить уповільнити зростання вартості послуг із забезпечення водою питної якості.

Значна частина населених пунктів України забезпечується водою з поверхневих джерел. Для таких систем водопостачання найчастіше передбачається двоступенева схема підготовки, де на стадії доочищення застосовуються швидкі фільтри із зернистим завантаженням. Унаслідок зарегульованості багатьох поверхневих джерел водопостачання основна частина навантаження при очищенні від тонкодисперсних завислих і колоїдних речовин припадає на фільтрувальні споруди. Затрати, пов'язані з експлуатацією цих споруд, складають значну частину в загальній вартості очищення. Дані затрати обумовлені необхідністю періодичної регенерації зернистого завантаження, що колюматується в процесі фільтрування. Для цієї операції витрачається велика кількість промивної води питної якості, яка подається хоч і нетривалий час, але з інтенсивністю, що в декілька разів перевищує подачу в режимі очищення. Одним із напрямків скорочення об'ємів промивної води є збільшення фільтроциклу споруди, а саме тривалості її роботи в режимі фільтрування.

Отже актуальними є дослідження, спрямовані на обґрунтування конструктивних і технологічних удосконалень швидких фільтрів, що дозволяють збільшити їх брудоемність та зменшити експлуатаційні затрати.

Актуальність поставлених проблем, їх теоретична та практична значимість безпосередньо вплинули на вибір теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у відповідності з регіональною програмою «Екологічне оздоровлення басейну річки Сіверський Донець», а також в рамках господарчо-договірної науково-дослідної роботи №022/16 «Розробка та обґрунтування технічних та технологічних рішень для підвищення ефективності роботи швидких фільтрів» (№ держреєстрації 0116U005553), та у відповідності з тематичним планом кафедри водопостачання, каналізації і гідравліки Харківського національного університету будівництва та архітектури, а саме в рамках науково-дослідної роботи «Удосконалення фільтрувальних споруд для підготовки питної води» (№ держреєстрації 0118U003493).

Мета і завдання роботи. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування ефективності застосування пористих волокнистих полімерних оболонок дренажних систем швидких фільтрів для скорочення експлуатаційних затрат при очищенні природних вод фільтруванням.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі конструктивні та технологічні рішення, направлені на підвищення ефективності очищення води в швидких фільтрах з зернистим завантаженням;

- удосконалити та розробити математичні моделі послідовного та паралельного фільтрування малокоцентрованої суспензії через зернисте та волокнисте завантаження;
- обґрунтувати за допомогою математичного моделювання конструкції дренажної системи з пористими оболонками з полімерних волокнистих матеріалів та визначити раціональні параметри швидкого фільтра, що забезпечують зниження експлуатаційних затрат;
- провести експериментальні дослідження для перевірки адекватності математичних моделей і розрахункових результатів;
- виконати техніко-економічну оцінку розроблених технічних рішень та рекомендацій.

Об'єкт досліджень – процес фільтрування малокоцентрованої суспензії через зернисте та волокнисте завантаження.

Предмет дослідження – конструктивні та технологічні параметри швидкого фільтру з дренажною системою удосконаленої конструкції.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження процесів фільтрування через зернисте та волокнисте завантаження виконані за допомогою математичної моделі, заснованої на відомих рівняннях фільтрації, масопереносу і масопередачі; експериментальні дослідження виконані в лабораторних умовах на експериментальній установці на модельній воді з використанням стандартних методик; достовірність результатів теоретичних досліджень перевірена за допомогою методів математичної статистики шляхом зіставлення розрахункових та дослідних даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

- набули подальшого розвитку способи зниження експлуатаційних затрат при очищенні природної води на швидких фільтрах, а саме науково обґрунтовано доцільність застосування дренажних систем з пористими волокнистими оболонками для доочищення з метою підвищення ефективності роботи фільтрувальних споруд;
- удосконалена математична модель процесу очищення малокоцентрованої суспензії при послідовному фільтруванні через зернисте та волокнисте завантаження: враховано особливості фільтрування у волокнистому середовищі та відведення частини потоку у нижні шари;
- вперше розроблено математичну модель паралельного фільтрування малокоцентрованої суспензії через зернисте завантаження та пористі волокнисті оболонки вертикальних дренажних елементів.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі наукового аналізу, виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, розроблено ряд конструктивних та технологічних удосконалень, направлених на підвищення ефективності роботи швидкого фільтру. Зазначені рішення включають використання пористої волокнистої оболонки полімерних дренажів швидкого фільтра для доочищення води, що пройшла через зернисту засипку; використання системи відведення частини потоку у нижні шари зернистого завантаження; організацію паралельного фільтрування через зернисте завантаження та пористі волокнисті оболонки вертикальних дренажних

елементів. Така модернізація створює умови для збільшення тривалості фільтроциклу.

Розроблені рекомендації з розрахунку, проектування та експлуатації швидкого фільтра з дренажною системою удосконаленої конструкції, які дозволяють скоротити експлуатаційні затрати.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на очисних спорудах другого підйому другого блоку Комплексу водопідготовки «Донець» відокремленого підрозділу Комунального підприємства «Харківводоканал» та використовуються у розробках ВАТ «Харківський Водоканалпроект», ТОВ «НПП ПРОМІНВЕСТПРОЕКТ».

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, викладені в дисертації, отримані особисто автором на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на підвищенні ефективності роботи швидких фільтрів.

Автором сформульовано мету, завдання дисертаційного дослідження, проведено аналіз сучасних методів підвищення ефективності роботи фільтрувальних споруд при підготовці питної води; розроблено та удосконалено математичні моделі послідовного та паралельного фільтрування малоконцентрованої суспензії через зернисте та волокнисте завантаження, роботи швидкого зернистого фільтра з відведенням частини потоку у нижні шари; проведено чисельні експерименти з впливу основних параметрів зернистого та волокнистого завантажень на ефективність роботи фільтра, визначено їх раціональні значення; розроблено експериментальну установку та проведено лабораторні дослідження; на основі експериментальних даних виконано ідентифікацію розроблених математичних моделей, перевірено адекватність теоретичних результатів; розроблені рекомендації з розрахунку, проектуванню та експлуатації швидких фільтрів з дренажною системою удосконаленої конструкції.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати досліджень та головні положення дисертаційної роботи доповідалися на науково-технічних конференціях Харківського національного університету будівництва та архітектури (2016-2018 р.р.); міжнародних науково-практичних конференціях: «Водокористування: технології, споруди, менеджмент» (м. Київ, 2016, 2017 р.р.), «Актуальні проблеми енерго-, ресурсозбереження та екології (м. Одеса, 2017 р.); міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» (м. Харків, 2017 р.); всеукраїнських наукових семінарах «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» (м. Харків, 2016, 2018 р.р.); міжнародному конгресі та технічній виставці «Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація (ЕТЕВК-2017)» (м. Чорноморськ, 2017 р.); науково-практичних конференціях: «Меліорація та водовикористання – складові сталого розвитку водогосподарського комплексу країни. Присвячено 85-річчю ВСП «Мелітопольській коледж ТДАТУ» (м. Мелітополь, 2016 р.); «Меліорація та водовикористання – сталий розвиток водогосподарського комплексу країни. З нагоди Всесвітнього дня водних ресурсів. Присвячено 19-річчю Університету «Україна» (м. Мелітополь, 2017 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові роботи, зокрема 7 у спеціалізованих виданнях, регламентованих Міністерством освіти і науки України та виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 2 – в інших виданнях, 12 тез доповідей, 1 патент України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 149 найменувань, 3 додатків та вміщує 49 рисунків й 5 таблиць по тексту, усього 148 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність, зазначено особистий внесок автора.

У **першому розділі** виконано аналіз існуючих рішень підвищення брудоемності зернистих фільтрів і досвіду застосування фільтрів з волокнистих матеріалів. Зроблено висновок, що для удосконалення роботи швидких фільтрів доцільно застосовувати багатоступінчате фільтрування, реалізоване в одній споруді; використовувати для доочищення води після проходження зернистої засипки високоефективні волокнисті фільтрувальні матеріали; організовувати експлуатацію зернистого завантаження за межами захисної дії.

Отримати необхідний результат можна, застосовуючи пористі волокнисті оболонки полімерних дренажних систем для відсічі зависі у той момент, коли зернисте завантаження не забезпечує необхідний ступінь очищення. Для цього необхідно обґрунтувати необхідні удосконалення полімерних дренажів. Одночасно потребують удосконалення математичні моделі процесу одночасного фільтрування води, що містить завислі речовини, через зернисте та волокнисте завантаження.

Питаннями удосконалення конструкції та технології застосування фільтрувальних споруд із зернистим завантаженням, а також методів їх розрахунку займалися такі відомі вчені як М.М. Абрамов, Р.І. Аюкаєв, П.О. Грабовський, С.С. Душкін, С.М. Епоян, М.Г. Журба, Л.А. Кульський, В.А. Клячко, Г.І. Ніколадзе, Д.М. Мінц, О.Я. Олійник, В.О. Орлов, В.Л. Поляков, В.Й. Прогульний, П.П. Строкач, А.М. Тугай, П.Д. Хоружий, Ю.М. Шехтман, С.А. Шуберт, К.І. Ives, Н.Е. Hudson, J.M. Schöntag. Однак, вивченню послідовної фільтрації малококонцентрованої суспензії через шари завантаження з зернистих та волокнистих матеріалів приділено недостатньо уваги.

Таким чином, дослідження, направлені на обґрунтування таких параметрів швидких фільтрів з удосконаленими дренажними системами, що забезпечують значне подовження фільтроциклу та скорочення числа промивок, є актуальними.

У **другому розділі** представлені удосконалені математичні моделі послідовного фільтрування малококонцентрованої суспензії крізь шари зернистого та волокнистого завантаження, роботи швидкого фільтра з відведенням частини потоку у нижні шари зернистого завантаження та доочищенням на дренажній системі. Описана розроблена конструкція швидкого фільтра з вертикальними дренажними елементами, пористі волокнисті оболонки яких паралельно з

зернистим завантаженням використовуються для затримання зависі; представлена розроблена математична модель роботи даної споруди.

Основу математичної моделі послідовного фільтрування малоконцентрованої суспензії крізь шари зернистого та волокнистого завантаження складають:

1) рівняння фільтрації, записане у вигляді:

- для випадку, коли кольтатація пористої перегородки відбувається з поступовим закупорюванням пор

$$\frac{dW(t)}{dt} = \frac{\Delta p(t)}{\mu \left(\frac{R_{3.3.}(t)}{F_{3.3.}} + \frac{R_{п.п.}(t)}{F_{п.п.}} \right)}, \quad (1)$$

- для випадку, коли кольтатація пористої перегородки відбувається з утворенням шару осаду на її поверхні

$$\frac{dW(t)}{dt} = \frac{\Delta p(t)}{\mu \left(\frac{R_{3.3.}(t)}{F_{3.3.}} + \frac{R_{ос}(t) + R_{0 п.п.}}{F_{п.п.}} \right)}, \quad (2)$$

де $W(t)$ – об'єм очищеної води, m^3 ; $F_{3.3.}$ – площа поверхні фільтрації зернистого завантаження, m^2 ; $F_{п.п.}$ – площа поверхні фільтрації пористої перегородки, m^2 . $\Delta p(t)$ – різниця тисків (напору), Па; μ – динамічна в'язкість, Па·с; $R_{3.3.}(t)$ – опір шару зернистого завантаження, m^{-1} ; $R_{ос}(t)$ – опір шару осаду, m^{-1} ; $R_{п.п.}(t)$ – опір пористої перегородки, m^{-1} ; $R_{0 п.п.}$ – опір незакольтатованої пористої перегородки, m^{-1} ; t – час, с; $Q(t) = \frac{dW(t)}{dt}$ – продуктивність фільтру, $m^3/с$;

2) рівняння переносу завислих часток зависі потоком рідини, що фільтрується (застосовується для зернистого завантаження та пористої перегородки, якщо її кольтатація відбувається з поступовим закупорюванням пор):

$$n_{3.3.(п.п.)}(z, t) \frac{\partial C(z, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial C(z, t)}{\partial z} + \frac{\partial S(z, t)}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

3) рівняння масопередачі часток зависі з води у тверду фазу зернистого завантаження (або волокнистого матеріалу перегородки):

$$\frac{\partial S(z, t)}{\partial t} = b(t)C(z, t) - a(t)S(z, t), \quad (4)$$

де z – вертикальна координата, м, яка змінюється в діапазоні від 0 до $h_{3.3.}$ для зернистого завантаження або від 0 до $h_{п.п.}$ для пористої перегородки; $h_{3.3.}$ – товщина шару зернистого завантаження, м; $h_{п.п.}$ – товщина пористої перегородки, м; $n_{3.3.(п.п.)}$ – пористість зернистого завантаження (пористої перегородки); $C(z, t)$ – концентрація часток зависі у рідині, що фільтрується, $кг/м^3$; $S(z, t)$ – концентрація часток зависі, затриманих на зернах фільтруючого завантаження, $кг/м^3$; $V(t)$ – швидкість фільтрування, м/с; $a(t)$ та $b(t)$ – коефіцієнти, відповідно, відриву та прилипання часток зависі до зерен завантаження, $с^{-1}$.

Якщо площа поверхні фільтрації змінюється по товщині пористої

перегородки, наприклад, коли пориста перегородка має циліндричну форму та товщину співмірну з радіусом, то складові $\frac{R_{п.п.}(t)}{F_{п.п.}}$ та $\frac{R_{oc}(t) + R_{0п.п.}}{F_{п.п.}}$ рівнянь (1)

та (2) слід переписати у вигляді $\int_0^{h_{п.п.}} \frac{r_{п.п.}(z, t)}{F_{п.п.}(z)} dz$ та $\frac{R_{oc}(t)}{F_{п.п.0}} + \int_0^{h_{п.п.}} \frac{r_{п.п.}(z)}{F_{п.п.}(z)} dz$, де $F_{п.п.0}$ – площа зовнішньої поверхні пористої перегородки.

Коефіцієнти $a(t)$ і $b(t)$ визначаються за залежностями:

$$a(t) = \frac{V(t)}{d_{3.3.(п.п.)}} \alpha; \quad b(t) = \frac{\beta}{(V(t))^{0.7} d_{3.3.(п.п.)}^{1.7}} V(t), \quad (5)$$

де α і β – коефіцієнти, які враховують фізико-хімічні властивості зерен завантаження та суспензії, що фільтрується через нього; $d_{3.3.}$ – крупність зерен (еквівалентний діаметр) зернистого завантаження, м; $d_{п.п.}$ – крупність пор (еквівалентний діаметр) волокнистого завантаження, м.

Опір шару зернистого завантаження $R_{3.3.}$, а також пористої перегородки $R_{п.п.}$ при поступовому закупорюванні її пір, дорівнює

$$R_{3.3.}(t) = \int_0^{h_{3.3.}} r_{3.3.}(z, t) dz; \quad R_{п.п.}(t) = \int_0^{h_{п.п.}} r_{п.п.}(z, t) dz, \quad (6)$$

де $r_{3.3.(п.п.)}$ – питомий опір зернистого завантаження (пористої перегородки), m^{-2} .

Якщо фільтрування відбувається з утворенням шару осаду, то опір пористої перегородки, пори якої в цьому випадку не кольматуються, буде дорівнювати

$$R_{0п.п.} = r_{0п.п.} h_{п.п.}, \quad (7)$$

де $r_{0п.п.}$ – питомий опір незакольматованої пористої перегородки, m^{-2} .

Опір шару осаду

$$R_{oc}(t) = r_{oc} h_{oc}(t), \quad (8)$$

де $h_{oc}(t)$ – товщина шару осаду, м.

Товщина шару осаду залежить від кількості води, що профільтрувалася, та від вмісту в ній часток зависі, крупність яких більша рейтингу фільтрації пористої перегородки $d_{п.п.}$. З урахуванням об'єму, який займається зернами завантаження, товщина шару осаду дорівнює

$$dh_{oc}(t) = \frac{dW(t)(C(h_{3.3.}) - C_{кр})}{F \rho_{oc} n_{03.3.}}; \quad h_{oc}(t) = \frac{1}{t} \int_0^t dh_{oc}(t) dt, \quad (9)$$

де $dh_{oc}(t)$ – приріст товщини шару осаду, м; $C(h_{3.3.})$ – концентрація завислих речовин у воді після проходження шару зернистого завантаження, kg/m^3 ;

$C_{кр}$ – критична концентрація завислих речовин у фільтраті, kg/m^3 ; ρ_{oc} – густина осаду, kg/m^3 ; $n_{03.3.}$ – пористість незакольматованого зернистого завантаження.

Якщо $C(h_{3.3.}) \leq C_{кр}$, то $dh_{oc}(t) = 0$. Вважається, що пориста перегородка з даним рейтингом фільтрації пропускає дрібні частки зависі, вміст яких не перевищує критичне значення каламутності фільтрату.

Питомий опір осаду r_{oc} можна визначити на основі експериментальних даних. Питомий опір зернистого завантаження до початку кольматації можна оцінити за допомогою рівняння Козені-Кармана:

$$r_{0\text{ з.з.}} = k_1 F_{\text{пит. з.з.}}^2 \frac{(1 - n_{0\text{ з.з.}})^2}{n_{0\text{ з.з.}}^3}, \quad (10)$$

де $F_{\text{пит. з.з.}} = 6\Phi/d_{\text{з.з.}}$ – питома поверхня зерен завантаження, м^{-1} ; Φ – коефіцієнт форми; k_1 – відношення довжини пір до розмірів пори.

Залежність (10) отримана для зернистого матеріалу, для волокнистого матеріалу, характеристикою якого є еквівалентний діаметр пори $d_{\text{п.п.}}$, отримано формулу:

$$r_{0\text{ п.п.}} = \frac{k_1 F_{\text{пит. п.п.}}^2}{n_{0\text{ п.п.}}}. \quad (11)$$

Зміну пористості в результаті кольматації визначимо за допомогою залежності:

$$n(z, t) = n_0 - \frac{S(z, t)}{\gamma}, \quad (12)$$

де γ – концентрація твердих часток зависі в осаді, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для визначення впливу кольматації на питомий опір шару зернистого завантаження скористаємося залежністю:

$$r_{\text{з.з.}}(z, t) = r_{0\text{ з.з.}} \left(\frac{n_{0\text{ з.з.}}}{n_{\text{з.з.}}(z, t)} \right)^3. \quad (13)$$

Аналогічна залежність отримана для волокнистого матеріалу.

Водопровідні очисні споруди працюють зазвичай у самопливному режимі. Зміна перепаду тиску у швидкому фільтрі залежить не тільки від кольматації фільтруючого завантаження, але й від різниці рівнів води у спорудах, які розташовані до та після фільтру у технологічній схемі, а також втрат напору у комунікаціях між ними.

В загальному вигляді залежність перепаду тиску (напору) від продуктивності очисних споруд можна представити у вигляді

$$\Delta p(t) = p_0 - \zeta Q(t)^2, \quad (14)$$

де p_0 и ζ – коефіцієнти, які визначаються у результаті гідравлічних розрахунків.

Таким чином, проведення розрахунків відбувається за допомогою рівнянь та залежностей (1-14). Дана система вирішується чисельним методом кінцевих різниць.

Приймаються наступні початкові та граничні умови.

Початкові умови:

при $t = 0$ $h_{\text{ос}} = 0$; $C(z) = C_{\text{ф}}$; $S(z) = 0$; якщо $\Delta p = f(t)$, то

$$Q = \frac{-\left(\frac{R_{0\text{ з.з.}}}{F_{\text{з.з.}}} + \frac{R_{0\text{ п.п.}}}{F_{\text{п.п.}}}\right)\mu + \sqrt{\left(\frac{R_{0\text{ з.з.}}}{F_{\text{з.з.}}} + \frac{R_{0\text{ п.п.}}}{F_{\text{п.п.}}}\right)^2 \mu^2 + 4p_0\zeta}}{2\zeta};$$

де $R_{0\text{ з.з.}}$ – опір незакольматованого зернистого завантаження, м^{-1} .

У випадку, коли підтримується режим сталої продуктивності початкові втрати напору дорівнюють

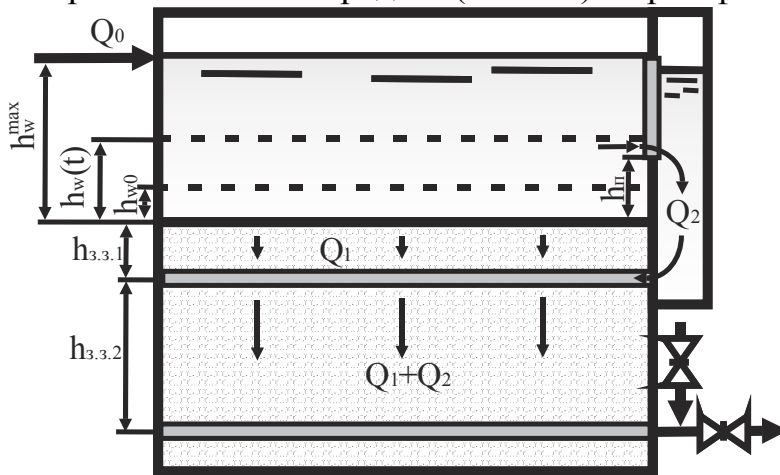
$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \mu \frac{Q}{\rho g} \left(\frac{R_{03.3.}}{F_{3.3.}} + \frac{R_{0п.п.}}{F_{п.п.}} \right),$$

де ρ – густина суспензії, що фільтрується, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}^2/\text{с}$.

Граничні умови:

при $z = 0$ $C = C_0$ (концентрація завислих речовин у вихідній воді, кг/м^3), S визначається з рівняння (4).

Підвищити ефективність використання зернистого завантаження для очищення малоконцентрованої суспензії фільтруванням пропонується перепуском частини потоку з надфільтрового простору у розподільчу систему, яка розташована в середніх (нижніх) шарах фільтруючого завантаження (рис. 1).



Там вихідна вода змішується з водою, яка профільтрувалася через верхній шар, і далі фільтрується через нижній шар. По мірі колюматації верхнього шару частина потоку, який відводиться у нижні шари збільшується. Таким чином, швидкість фільтрації у верхньому шарі зменшується, зростання втрат напору уповільнюється.

Рис. 1 – Схема фільтра з відведенням частини потоку у нижні шари

Математична модель роботи фільтра з відведенням частини потоку в нижні шари доповнена наступними рівняннями та залежностями:

1) рівнянням фільтрації

– для потоку 1

$$Q_1(t) = \frac{\rho g}{\mu} \frac{h_w(t) + h_{31} + h_{32}}{\frac{R_{3.3.1}(t)}{F_{3.3.}} + \left(1 + \frac{Q_2(t)}{Q_1(t)}\right) \frac{R_{3.3.2}(t)}{F_{3.3.}} + \frac{R_{oc}(t)}{F_{п.п.}} + \frac{R_{п.п.}}{F_{п.п.}}}; \quad (15)$$

– для потоку 2

$$Q_2(t) = \frac{\rho g}{\mu} \frac{h_w(t) + h_{31} + h_{32}}{\frac{R_{п}(t)}{b(h_w(t) - h_{п})} + \left(1 + \frac{Q_2(t)}{Q_1(t)}\right) \frac{R_{3.3.2}(t)}{F_{3.3.}} + \frac{R_{oc}(t)}{F_{п.п.}} + \frac{R_{п.п.}}{F_{п.п.}}}; \quad (16)$$

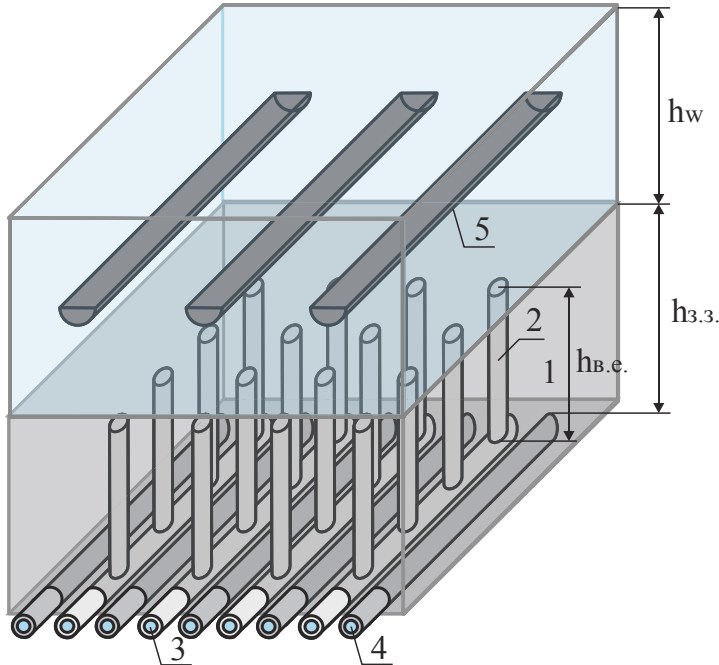
2) залежністю, що описує зміну товщини шару води над шаром фільтруючого завантаження

$$\frac{dh_w(t)}{dt} = \frac{Q_0 - (Q_1(t) + Q_2(t))}{F_{3.3.}}, \quad (17)$$

де $R_{п}$ – опір переливної перегородки, м^{-1} ; $h_w(t)$ – товщина шару води на шаром фільтруючого завантаження, м ; $h_{п}$ – висота розташування переливної

перегородки над фільтруючим завантаженням, м; b – ширина переливної перегородки, м.

Розроблено конструкцію швидкого фільтру, в товщі зернистого завантаження якого розташовані вертикальні дренажні елементи (ВДЕ) з пористими оболонками з полімерних волокнистих матеріалів (рис. 2). Вода, що очищується, паралельно фільтрується через шар зернистої засипки та пористі волокнисті оболонки (ПВО) ВДЕ.



1 – шар зернистого завантаження; 2 – ВДЕ;
3 – система відведення води, що профільтрувалася через ВДЕ; 4 – система відведення води, що профільтрувалася через шар зернистого завантаження; 5 – жолоба для відведення промивної води;
 $h_{з.з.}$ – робоча висота шару зернистого завантаження;
 $h_{в.е.}$ – робоча висота ВДЕ;
 h_w – висота шару води над шаром зернистого завантаження

Рис. 2 – Схема швидкого фільтра з ВДЕ:

Для опису процесу фільтрації в даній споруді отримано рівняння:

$$Q = \Delta h(z, t) \frac{\rho g}{\mu} \frac{F_{з.з.}}{R_{з.з.}(z, t)} e^{-\frac{\pi N_{в.е.} d_{ВДЕ}}{F_{з.з.}} \int_0^z \frac{R_{з.з.}(z, t)}{R_{ПВО} + R_{ос}(z, t)} dz}, \quad (18)$$

де $d_{ВДЕ}$ – діаметр ВДЕ, м; $N_{в.е.}$ – кількість ВДЕ; $F_{з.з.} = F - \frac{\pi N_{в.е.} d_{ВДЕ}^2}{4}$ – площа

поверхні фільтрації зернистого завантаження, m^2 ; F – площа поперечного перетину робочої камери фільтра, m^2 ; $\Delta h(z, t)$ – втрати напору на ділянці від z до $h_{з.з.}$, м; $R_{ПВО}$ – опір ПВО, m^{-1} ; $R_{ос}(z, t)$ – опір шару осаду на поверхні ПВО m^{-1} .

Представлені удосконалені та розроблені математичні моделі фільтрування через зернисте та волокнисте завантаження, що базується на рівняннях та залежностях (1-18), дозволяють обґрунтувати такі значення параметрів споруди, при яких експлуатаційні затрати будуть значно зменшені.

У **третьому розділі** наведено результати теоретичних досліджень, що отримані за допомогою удосконалених і розроблених математичних моделей. Вивчено вплив параметрів зернистого та волокнистого завантажень (еквівалентного діаметру зерен або пор, пористості, товщини фільтруючого шару) на ефективність застосування дренажних систем для доочищення. У якості критерію ефективності в залежності від режиму роботи фільтра приймалося або

відношення тривалостей роботи у режимі фільтрування фільтрів удосконаленої та традиційної конструкцій T_2/T_1 , або відношення продуктивностей Q_2/Q_1 , або комбінація цих параметрів $\tau_2/\tau_1 = (T_2 Q_2)/(T_1 Q_1)$. Розглянуті наступні режими роботи швидкого фільтра: зі сталою витратою ($Q = \text{const}$), зі сталим напором ($\Delta h = \text{const}$), зі сталою подачею ($Q_0 = \text{const}$) (змінним рівнем води у надфільтровому просторі).

На рис. 3 для фільтрування з утворенням шару осаду на поверхні пористої оболонки представлено приклади розрахунку впливу на ефективність доочищення дренажною системою еквівалентного діаметра зерен завантаження та рейтингу фільтрації оболонки.

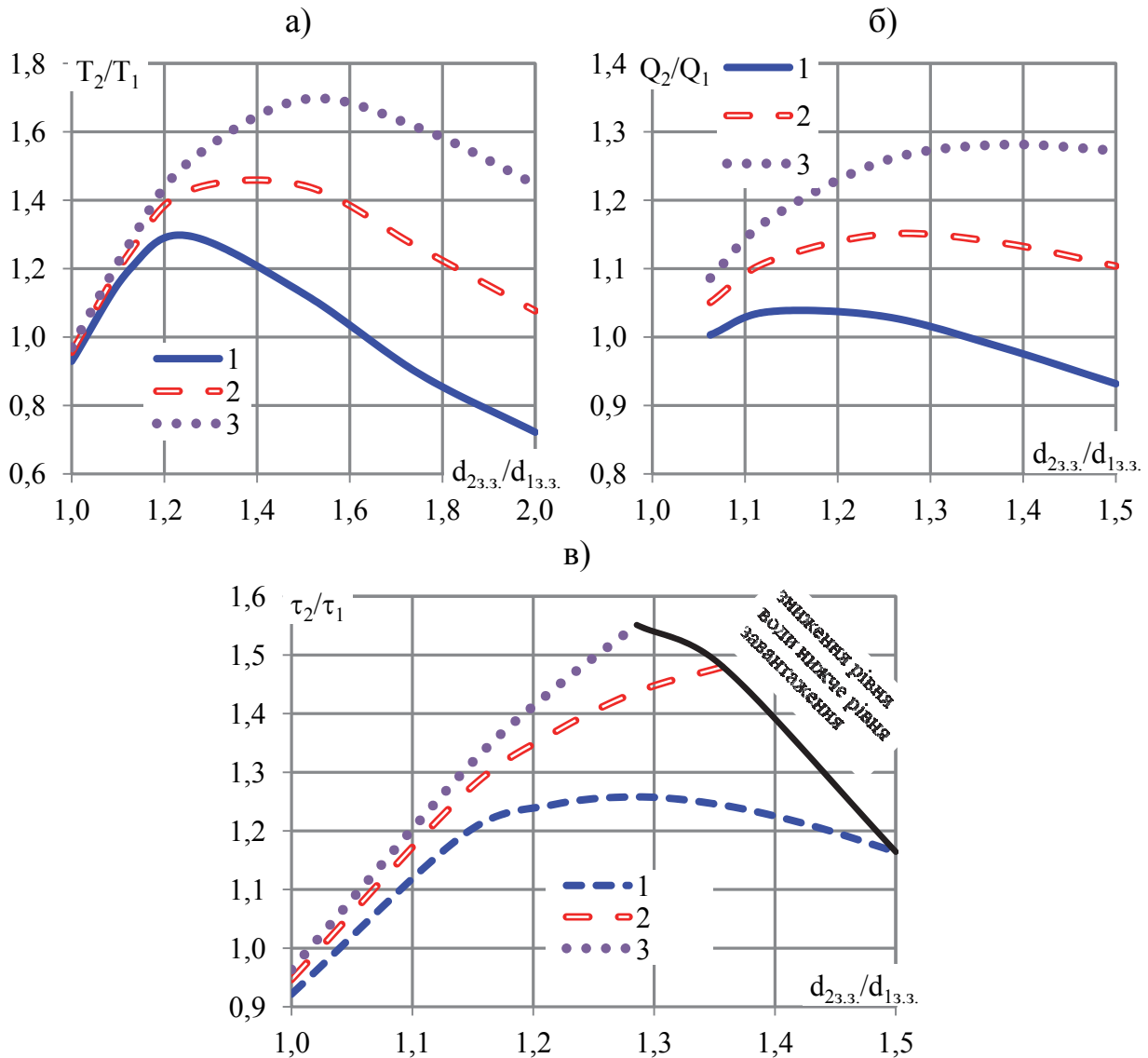


Рис. 3 – Залежність ефекту завантаження від крупності зерен завантаження та рейтингу фільтрації пористої оболонки (з утворенням шару осаду):

а) – $Q = \text{const}$; б) – $\Delta h = \text{const}$; в) – $Q_0 = \text{const}$

1 – $d_{\text{п.п.}} = 4$ мкм; 2 – $d_{\text{п.п.}} = 5$ мкм; 3 – $d_{\text{п.п.}} = 6$ мкм

Для зменшення втрат напору при цьому виді фільтрування запропоновано застосовувати багат шарову пористу перегородку Перший по напрямку фільтрування шар має набагато більший рейтинг фільтрації та потрібний для

відсікання зерен завантаження та накопичення осаду. За рахунок високої пористості шару в ньому накопичується більша, ніж в зернистому завантаженні, кількість осаду. Другий шар має менші розміри пор і малу товщину (для зменшення опору), він служить для затримання зависі, яка пройшла крізь зернисте завантаження. Для підвищення міцності оболонки влаштовується третій шар – підкладка, який має пори великого розміру.

На рис. 4 для фільтрування з поступовим закупорюванням пор пористої оболонки представлено приклади розрахунку впливу на ефективність доочищення дренажною системою еквівалентного діаметра зерен завантаження та товщини оболонки.

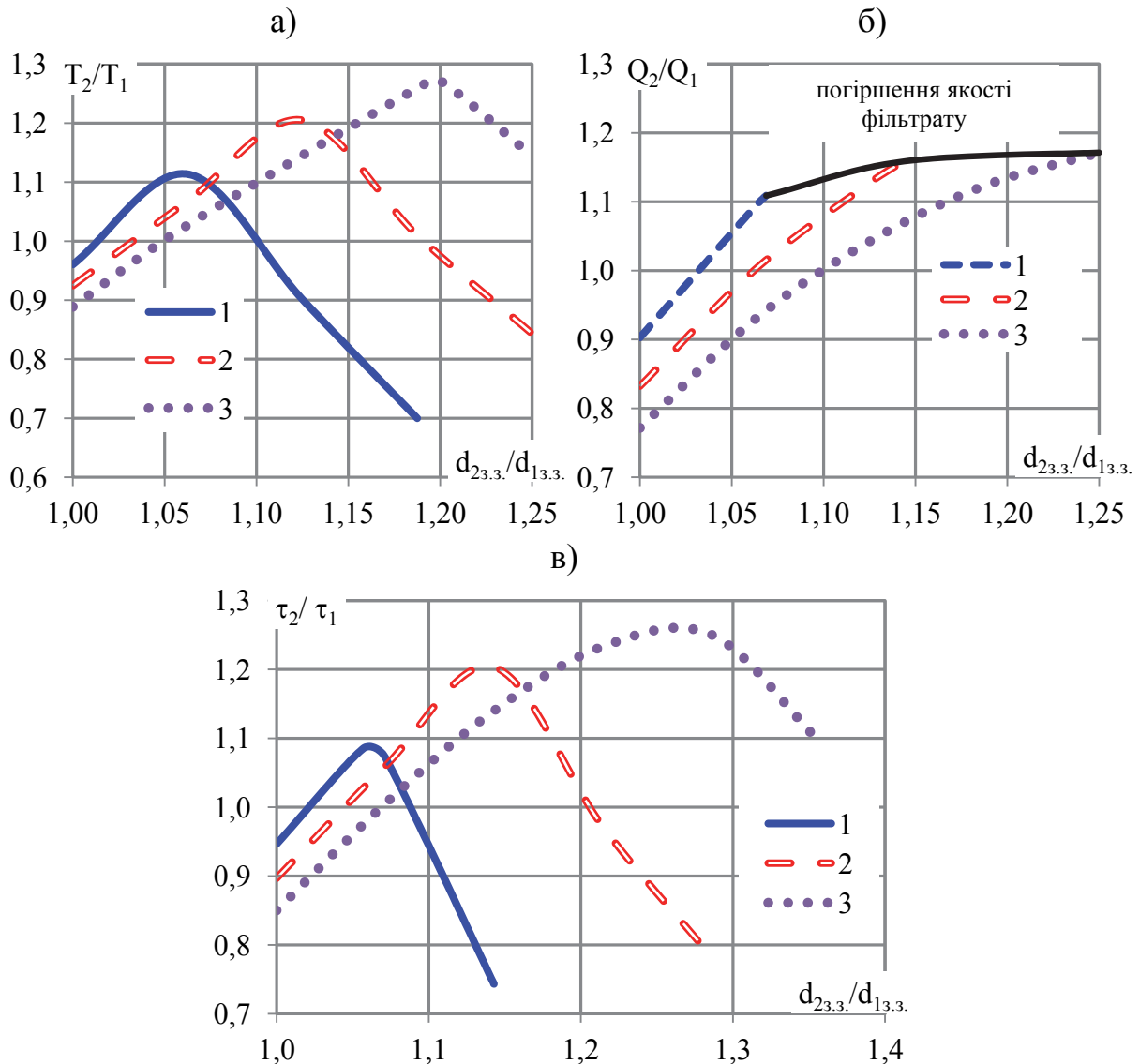


Рис. 4 – Залежність ефекту завантаження від крупності зерен завантаження та товщини пористої оболонки (з поступовим закупорюванням пор):

а) – $Q = \text{const}$; б) – $\Delta h = \text{const}$; в) – $Q_0 = \text{const}$

1 – $h_{\text{п.п.}} = 20$ мм; 2 – $h_{\text{п.п.}} = 40$ мм; 3 – $h_{\text{п.п.}} = 60$ мм

Якщо підтримується режим сталого напору, то зі збільшенням розмірів зерен зернистої засипки відбувається різке погіршення якості фільтрату на початку фільтроциклу, коли швидкість фільтрація найбільша. При цьому

здійснюється відрив значної частини часток зависі від зернового завантаження та відбувається їх надходження на пористу оболонку.

На підставі результатів досліджень зроблено висновок, що застосування фільтрів з удосконаленою конструкцією дренажної системи більш ефективно, коли підтримується режим сталої продуктивності або сталої подачі на фільтр.

Використання системи відведення частини потоку з надфільтрового простору у нижні шари зернистого завантаження значно підвищує ефективність використання горизонтальних дренажних систем з пористими волокнистими оболонками для доочищення (рис. 5).

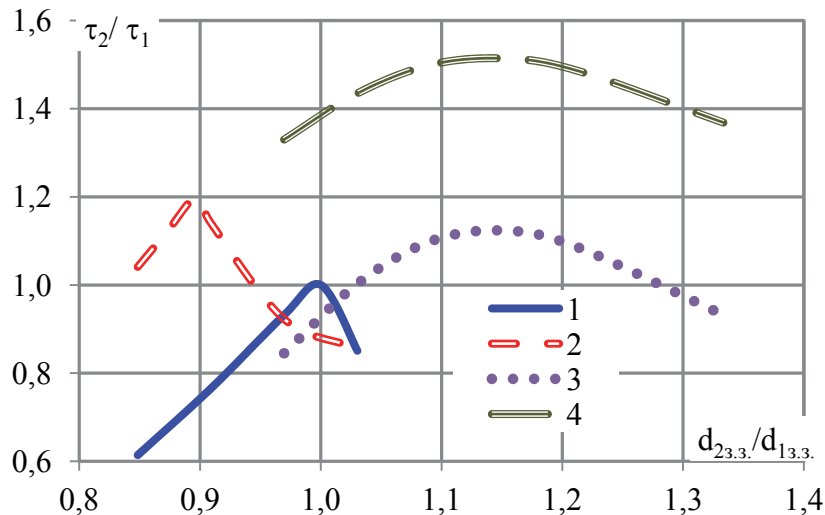


Рис. 5 – Вплив розміру зерен завантаження на ефективність роботи фільтрів: 1 – традиційної конструкції; 2 – з відведенням частини потоку у нижні шари; 3 – з доочищенням на пористій перегородці; 4 – з доочищенням на пористій перегородці та відведенням частини потоку у нижні шари

Обґрунтовано, що розташування переливної перегородки слід приймати приблизно посередині між початковим та максимальним рівнями води у надфільтровому просторі, а розташування розподільчої системи, що відводить частину потоку у нижні шари, теж приблизно посередині шару зернистої засипки.

При використанні дренажних систем для доочищення раціональне значення еквівалентного діаметру зерен зернистої засипки збільшується у порівнянні з фільтром традиційної конструкції. Якщо застосовується тільки система відведення частини потоку у нижні шари, то крупність часток зернистої засипки доцільно зменшувати.

Вивчена ефективність застосування фільтрувальної споруди з ВДЕ (рис. 6). Враховано затрати промивної води на регенерацію ПВО ВДЕ.

Доведено, що виключення з процесу фільтрування неефективної нижньої зони ВДЕ дозволяє зменшити додаткову кількість промивної води, необхідної для регенерації ПВО (рис. 7).

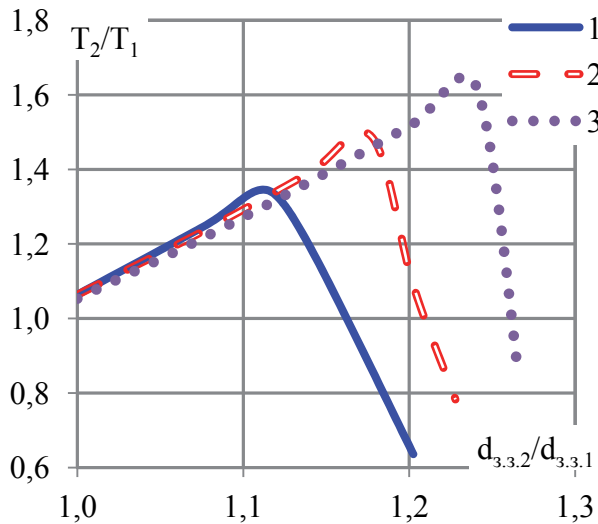


Рис. 6 – Вплив $d_{3.3}$ та $F_{\text{ПВО}}$ на ефективність роботи фільтра з ВДЕ:
 1 – $F_{\text{ПВО}}/F_{3.3} = 1,65$; 2 – $F_{\text{ПВО}}/F_{3.3} = 2,50$;
 3 – $F_{\text{ПВО}}/F_{3.3} = 3,35$

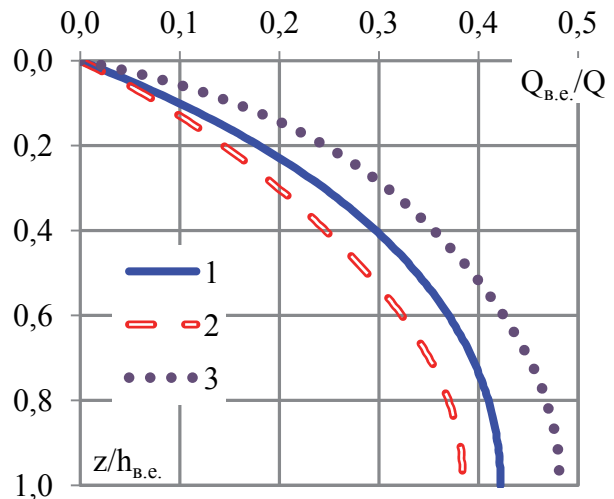


Рис. 7 – Динаміка розподілу по висоті ВДЕ витрати води, що фільтрується через ПВО: 1 – $t/T = 0$; 2 – $t/T = 0,5$; 3 – $t/T = 1$

У **четвертому розділі** описується проведення експериментальних досліджень роботи безнапірного фільтра удосконаленої конструкції.

Метою експериментальних досліджень була перевірка адекватності розробленої математичної моделі процесів послідовного та паралельного фільтрування малоконцентрованої суспензії через зернисте та волокнисте завантаження, а також перевірка достовірності результатів теоретичних досліджень з визначення раціональних конструктивних та технологічних параметрів споруди.

Експериментальна установка містить швидкий фільтр з удосконаленою дренажною системою 1 (рис. 8), бак з чистою водою 2, бак приготування замутивача 3, основний вихровий насос для подачі вихідної та промивної води 4, вихровий насос для подачі замутивача 5, гідроструминний насос 6.

У режимі фільтрування основний насос подачі вихідної води 4 та насос подачі замутивача 5 працюють паралельно. Чиста вода та замутивач змішуються в напірному трубопроводі, на якому встановлений вентиль 7, за допомогою якого регулюється подача забрудненої води у фільтр. У режимі фільтрування вентиля 8 на трубопроводі подачі промивної води закриті, а вентиля 10 та 11 на трубопроводі відведення очищеної води відкриті.

Експерименти проводили при режимі, коли на фільтр подається вода зі сталою витратою ($Q_0 = \text{const}$), тобто рівень води у надфільтровому просторі на протязі фільтрування змінюється.

Насос для подачі замутивача забирає з резервуара 2 чисту воду та подає до струминного насосу 6, за допомогою якого здійснюється підсос замутивача з відповідного бака 3. За допомогою вентилів 12 та 13 здійснюється регулювання вмісту замутивача у вихідній воді, тобто її якості. В напірний трубопровід подається розчин коагулянту, доза якого регулюється за допомогою вентиля 14.

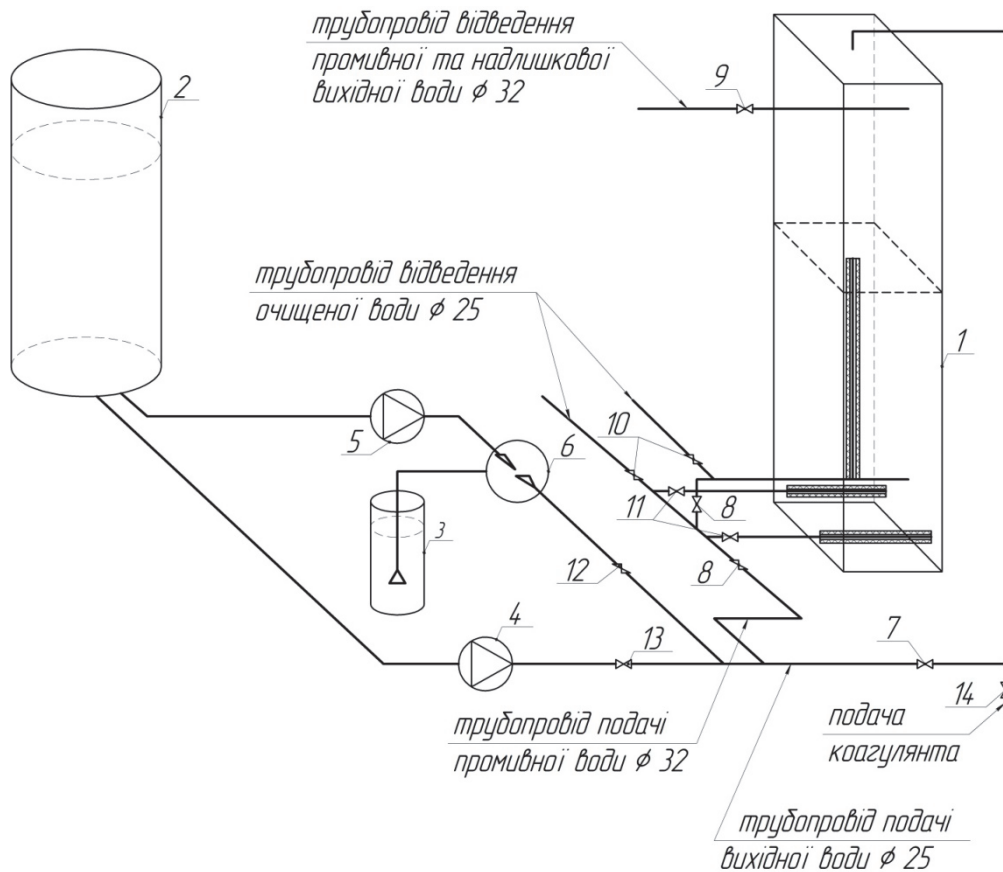


Рис. 8 – Загальна схема експериментальної установки:

- 1 – безнапірний фільтр; 2 – бак з чистою водою; 3 – бак з замутнювачем;
 4 – насос для подачі вихідної та промивної води; 5 – насос для подачі замутнювача; 6 – гідрострумінний насос; 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 – вентиля

Основний елемент експериментальної установки – це швидкий безнапірний фільтр. У нижній частині встановлено два горизонтальних дренажних елемента. Ці елементи складаються з внутрішньої поліпропіленової труби 2 \varnothing 25 мм з отворами \varnothing 6 мм та зовнішньої оболонки 3 \varnothing 65 мм, яка виконана з пористого волокнистого полімеру товщиною 10 мм. Пориста оболонка має шарувату структуру. Основний шар складає підкладка, еквівалентний діаметр пор якої дорівнює 300 мкм, зовні оболонки влаштовано тонкий шар (товщиною до 0,5 мм) з еквівалентним діаметром пор приблизно 5 мкм, який служить для затримання часток зависі. Така конструкція дренажної системи забезпечує фільтрування з утворенням на поверхні оболонки шару осаду. Також посередині фільтрової колони встановлено вертикальний дренажний елемент, висота робочої частини якого дорівнює 96 см. Він має схожу конструкцію з горизонтальними елементами. З верхнього торцю вертикальний дренаж заглушено. Безпосередньо пориста волокниста оболонка вертикального елемента починається на висоті 29 см від вісі горизонтальних дренажів, тобто в нижній частині фільтрування через вертикальний дренаж не відбувається. У якості зернистого завантаження був використаний кварцовий пісок, у якості коагулянту – розчин сірчанокислового алюмінію дозою 20 мг/л.

Виконувалося дві серії експериментів:

- 1) послідовне фільтрування через шар зернистого завантаження та пористі волокнисті оболонки горизонтальних дренажних елементів;
- 2) паралельне фільтрування через шар зернистого завантаження та пористу волокнисту оболонку вертикального дренажного елементу.

В процесі проведення експерименту контролювалися наступні параметри: концентрація завислих речовин у вихідній та очищеній воді; рівень води у надфільтровому просторі; витрата води, що надходить на фільтр та витрата фільтрату.

На рис. 9 представлені результати співставлення розрахункових та дослідних даних, отриманих для процесів фільтрування та промивки.

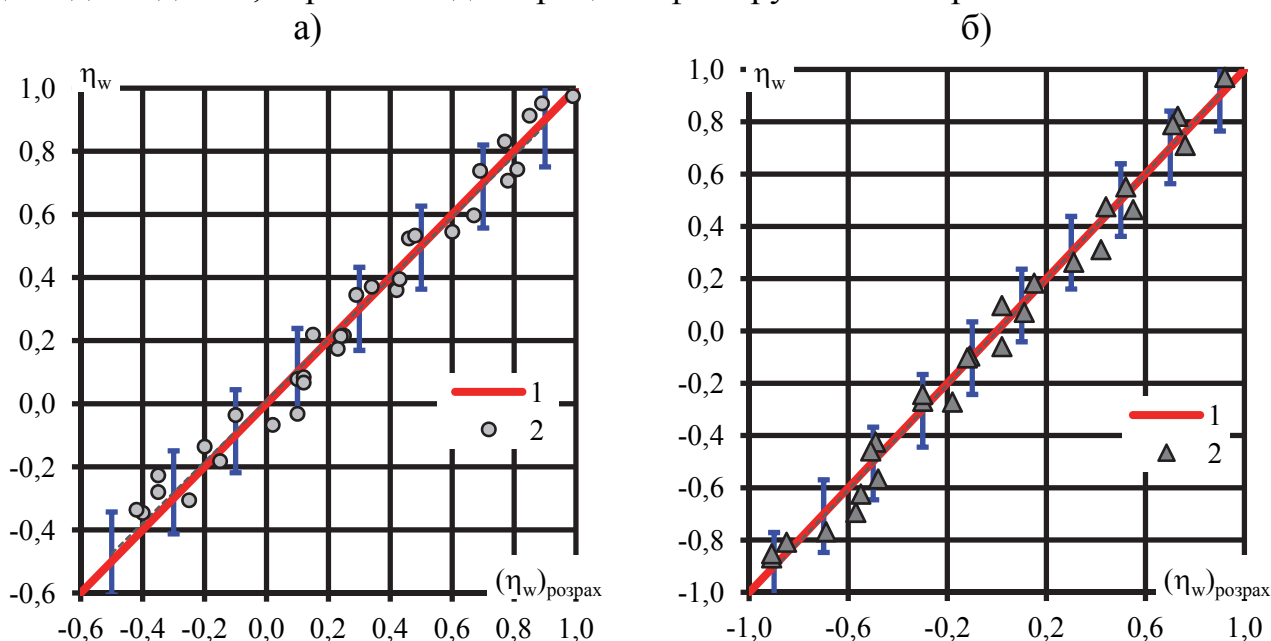


Рис. 9 – Співставлення розрахункових та дослідних даних для послідовного (а) та паралельного (б) фільтрування: 1 – розрахункові дані, 2 – дослідні дані;

$$\eta_w = \frac{h_w(t) - h_{w0}}{h_w^{\max} - h_{w0}}.$$

Порівняння розрахункових та дослідних даних за допомогою методів математичної статистики підтверджує адекватність розроблених математичних моделей і рекомендацій з удосконалення конструкції споруди.

У **п'ятому розділі** представлені розроблені рекомендації для проектування та експлуатації швидких фільтрів з удосконаленою дренажною системою. Ці рекомендації дозволяють підібрати найбільш відповідний режим та тип фільтрування, розрахувати раціональні параметри зернистого та волокнистого завантаження, а також системи перепуску частини витрати у нижні шари, що забезпечують максимальну ефективність роботи фільтрувальної споруди.

Виконано техніко-економічне порівняння ефективності швидкого одношарового фільтра традиційної конструкції з роботою фільтрів удосконалених конструкцій, а саме з вертикальними дренажними елементами та відведенням частини потоку у нижні шари зернистого завантаження з

доочищенням на горизонтальних дренажах, яке показало високу результативність запропонованих рішень. Значно збільшується тривалість роботи споруди у режимі фільтрування, відповідно, скорочується об'єм промивної води. Техніко-економічний ефект в залежності від конструкції фільтру складає 600-800 грн на 1 м² фільтруючої поверхні зернистого завантаження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано ефективність застосування пористих волокнистих полімерних оболонки дренажних систем швидких фільтрів для скорочення експлуатаційних затрат при очищенні природних вод фільтруванням. У результаті проведення дисертаційних досліджень були отримані основні висновки, які можна звести до наступного:

1. Виконаний аналіз існуючих рішень підвищення брудоемності зернистих фільтрів показав, що для удосконалення роботи цих споруд доцільно застосовувати багатоступінчате фільтрування, реалізоване в одній споруді; застосовувати для доочищення води після проходження зернистої засипки вискоєфективні волокнисті фільтрувальні матеріали; організувати експлуатацію зернистого завантаження за межами захисної дії.
2. Удосконалена математична модель послідовного фільтрування малоцентрованої суспензії крізь шари зернистого та волокнистого завантаження, яка дозволяє прогнозувати роботу швидкого фільтра, пористі волокнисті оболонки дренажної системи якого використовуються для доочищення, та обґрунтувати удосконалення, необхідні для підвищення ефективності.
3. Удосконалена математична модель роботи швидкого фільтра з відведенням частини потоку у нижні шари зернистого завантаження та доочищенням на дренажній системі, яка дозволяє врахувати вплив конструктивних параметрів системи перепуску та основних характеристик зернистого й волокнистого фільтруючих середовищ.
4. Розроблена математична модель роботи швидкого фільтра з вертикальними дренажними елементами, яка дозволяє врахувати вплив основних параметрів даної споруди та визначити їх раціональні значення.
5. Для різних режимів фільтрування (стала продуктивність, сталий напір та стала подача) проведено чисельні дослідження для випадків, коли на поверхні пористої волокнистої оболонки утворюється шар осаду та, коли відбувається поступове закупорювання її пор, які дозволили обґрунтувати удосконалення конструкції дренажної системи, що забезпечують підвищення ефективності роботи фільтрувальної споруди.
6. Проведено чисельні дослідження, які дозволили обґрунтувати результативність застосування перепуску частини потоку у нижні шари зернистої засипки та використання вертикальних дренажних елементів для підвищення ефективності роботи швидкого фільтра.

7. Виконано аналіз збіжності розрахункових та дослідних даних, який дозволяє вважати розроблені та удосконалені математичні моделі процесів послідовного та паралельного фільтрування малоконцентрованої суспензії через зернисте та волокнисте завантаження достовірними.
8. Виконано техніко-економічне порівняння ефективності швидкого одношарового фільтра традиційної конструкції з роботою фільтрів удосконалених конструкцій, яке показало, що техніко-економічний ефект в залежності від конструкції фільтра складає 600-800 грн. на 1 м² фільтруючої поверхні зернистого завантаження.
9. Результати роботи впровадженні на спорудах другого підйому другого блоку Комплексу водопідготовки «Донець» відокремленого підрозділу Комунального підприємства «Харківводоканал» та використовуються в розробках ВАТ «Харківський Водоканалпроект», ТОВ «ННП ПРОМІНВЕСТПРОЕКТ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Публікації у спеціалізованих виданнях України та виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз

1. Волков В.Н. Способы повышения эффективности работы фильтровальных сооружений / В.Н. Волков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2015. – №4(82). – С. 150-154.
2. Эпоян С. Повышение эффективности работы фильтровальных сооружений при применении дренажных систем из пористых полимерных материалов / С. Эпоян, А. Карагяур, В. Волков, В. Яркин // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 6. – P. 102-109. (Index Copernicus). (Особистий внесок здобувача: удосконалено математичну модель послідовного фільтрування малоконцентрованої суспензії через зернисте завантаження та пористу волокнисту перегородку з утворенням шару осаду на її поверхні).
3. Волков В.М. Використання полімерних оболонок дренажних систем швидких фільтрів для доочищення / В.М. Волков, С.М. Епоян, А.С. Карагяур, С.П. Бабенко // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. ХНУМГ імені О.М. Бектотова. – Харків: ХНУМГ імені О.М. Бектотова, 2017. – Вип. 139. – С. 135-142. (Особистий внесок здобувача: за допомогою математичного моделювання досліджено послідовне фільтрування малоконцентрованої суспензії через зернисте завантаження та пористу волокнисту перегородку зі змінним розміром пор).
4. Карагяур А.С. Математическое моделирование работы скорого фильтра с отводом части потока в нижние слои / А.С. Карагяур, В.Н. Волков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. – № 4(90). – С. 180-187. (Особистий внесок здобувача: за допомогою математичного моделювання досліджено вплив конструктивних параметрів

фільтра з відведенням частини потоку у нижні шари на ефективність його роботи).

5. Эпоян С.М. Исследование работы скорого фильтра с отводом части потока в нижние слои и доочисткой на дренажной системе / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.Н. Волков // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2017. – Вип. 28. – С. 140-148. (Особистий внесок здобувача: за допомогою математичного моделювання досліджено процес послідовного фільтрування малокоцентрованої суспензії через шар зернистого завантаження та пористу перегородку (з утворенням шару осаду на її поверхні) та з відведенням частини потоку в нижні шари).
6. Epyoan S. Research into the influence of vertical drainage elements on the operational efficiency of rapid filters / S. Epyoan, A. Karahiaur, V. Volkov, S. Babenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technology – Kharkiv. – 2018. – 1/10 (91) – P. 62-69. (Scopus). (Особистий внесок здобувача: розроблено математичну модель паралельного фільтрування малокоцентрованої суспензії через зернисте завантаження та пористі волокнисті оболонки вертикальних дренажних елементів, проведено чисельні експерименти).
7. Эпоян С.М. Особенности фильтрации малокоцентрированной суспензии через пористую волокнистую перегородку / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.Н. Волков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. – № 1(91). – С. 192-199. (Особистий внесок здобувача: досліджено вплив кольматації пор пористої волокнистої перегородки на її затримуючу здатність при послідовному фільтруванні малокоцентрованої суспензії через зернисте та волокнисте завантаження).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

8. Карагяур А.С. Исследование работы скорых фильтров с переменной по направлению фильтрования скоростью / А.С. Карагяур, В.Н. Волков, С.П. Бабенко, А.Н. Коваль // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2016.– № 4 (86) – С. 204-208. (Особистий внесок здобувача: за допомогою математичного моделювання проаналізовано роботу фільтра, коли швидкість фільтрування змінюється по товщині зернистого завантаження).
9. Эпоян С.М. Про можливість застосування дренажних систем швидких фільтрів для доочищення / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.М. Волков // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА. – 2016. – Вип. 27 – С. 121-129. (Особистий внесок здобувача: удосконалено математичну модель послідовного фільтрування малокоцентрованої суспензії через зернисте завантаження та пористу волокнисту перегородку з поступовим закупорюванням її пор, проведено чисельні експерименти).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

10. Епоян С.М. Удосконалення роботи швидких фільтрів за допомогою дренажних систем / С.М. Епоян, А.С. Карагяур, В.М. Волков // 71-а наук.-техн. конф. ХНУБА, 15–17 березня 2016 р., м. Харків: тези доповідей. – Харків: ХНУБА, 2016. – С. 39. (Особистий внесок здобувача: обґрунтовано доцільність застосування пористих волокнистих оболонок полімерних дренажних систем швидких фільтрів для доочищення води, що профільтрувалась через зернисте завантаження).
11. Епоян С.М. Використання дренажних систем для підвищення ефективності роботи швидких фільтрів / С.М. Епоян, А.С. Карагяур, В.М. Волков // Меліорація та водовикористання – складові сталого розвитку водогосподарського комплексу країни. Присвячено 85-річчю ВСП «Мелітопольський коледж ТДАТУ»: наук.-практ. конф., 30 вересня 2016р., м. Мелітополь: тези за матер. – Мелітополь: НВЦ «Запоріжгідропроєкт», 2016. – С. 27–29. (Особистий внесок здобувача: визначено особливості математичного моделювання послідовного фільтрування води, що містить завислі речовини, через зернисте завантаження та пористу перегородку з волокнистих полімерних матеріалів).
12. Эпоян С.М. Применение дренажных систем скорых фильтров для доочистки / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.Н. Волков // Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: VII всеукр. наук. семінар, 11–12 жовтня, 2016 р., м. Харків: тези за матер. – Харків: ХНУБА, 2016. – С. 95 – 97. (Особистий внесок здобувача: обґрунтовано ефективність застосування при фільтруванні з утворенням шару осаду на поверхні фільтрації двошарової пористої волокнистої оболонки).
13. Епоян С.М. Про можливість застосування дренажних систем швидких фільтрів для доочищення / С.М. Епоян, А.С. Карагяур, В.М. Волков // Водокористування: технології, споруди, менеджмент: III міжнар. наук.-практ. конф., 7–9 грудня 2016р., м. Київ: робоча програма та тези доповідей. – К.: КНУБА, 2016. – № 27. – С. 13. (Особистий внесок здобувача: досліджено фільтрування з поступовим закупорюванням пор пористої перегородки).
14. Карагяур А.С. Використання дренажних систем швидких фільтрів з полімерних волокнистих матеріалів для доочищення мікрофільтруванням / А.С. Карагяур, С.П. Бабенко, В.М. Волков // 72 наук.-техн. конф. ХНУБА, 14 – 17 березня 2017 р., м. Харків: тези доповідей, – Харків: ХНУБА, 2017. – С. 64–65. (Особистий внесок здобувача: розглянуто можливі конструктивні рішення для зменшення втрат напору у пористій волокнистій оболонці, яка використовується для доочищення).
15. Епоян С.М. Збільшення тривалості фільтроциклу швидких фільтрів за рахунок дренажних систем / С.М. Епоян, А.С. Карагяур, В.М. Волков // Меліорація та водовикористання – сталий розвиток водогосподарського комплексу країни. З нагоди Всесвітнього дня водних ресурсів. Присвячено 19-й річниці Університету «Україна»: наук.-практ. конф., 17 березня 2017р., м. Мелітополь: матер. конф. – Мелітополь: Мелітопольський інститут

- екології та соціальних технологій ВМУРоЛ «Україна», 2017. – С. 7–10. (Особистий внесок здобувача: обґрунтовано ефективність застосування при фільтруванні з утворенням шару осаду на поверхні фільтрації трьохшарової пористої волокнистої оболонки).
16. Эпоян С.М. Доочистка воды на полимерных дренажных системах скорых фильтров / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.Н. Волков // Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація (ЕТЕВК – 2017): міжнар. конгр. та техн. виставка, 12 – 16 червня 2017 р., м. Чорноморськ: зб. доповідей – Чорноморськ, 2017. – С. 104–106. (Особистий внесок здобувача: проаналізовано можливі удосконалення для збільшення брудоемності пористих волокнистих оболонок дренажних систем, які використовуються для доочищення).
17. Волков В.М. Очистка воды фильтрованием криз шары зернистого та волокнистого матеріалів / В.М. Волков, С.М. Епоян, А.С. Карагяур, С.П. Бабенко // Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології: міжнар. наук.-техн. конф., 10–11 жовтня 2017 р., м. Одеса: матер. конф. – Одеса: ОДАБА, 2017. – С. 65–66. (Особистий внесок здобувача: запропоновано для підвищення ефективності швидких фільтрів застосовувати вертикальні дренажні елементи з пористими волокнистими оболонками).
18. Волков В.Н. Интенсификация работы скорых фильтров с помощью пористых полимерных дренажей / В.Н. Волков, С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, С.П. Бабенко // Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд: VIII міжнар. наук. конф., 18–19 жовтня 2017 р., м. Харків: тези за матер. – Харків: ХНУБА, 2017. – С. 105–106. (Особистий внесок здобувача: визначено особливості паралельного фільтрування малокоцентрованої суспензії через зернисте завантаження та пористі волокнисті оболонки вертикальних дренажних елементів).
19. Эпоян С.М. Дослідження роботи швидкого фільтра з відведенням частини потоку в нижні шари і доочищенням на дренажній системі / С.М. Епоян, А.С. Карагяур, В.М. Волков // Водокористування: технології, споруди, менеджмент: IV міжнар. наук.-практ. конф., 14–15 грудня 2017 р., м. Київ: робоча програма та тези доповідей. – К.: ХНУБА, 2017. – С. 14. (Особистий внесок здобувача: обґрунтовано основні напрями вдосконалення конструкції швидкого фільтра та дренажної системи, коли частина потоку відводиться в нижні шари зернистого завантаження).
20. Карагяур А.С. Деякі рішення для підвищення ефективності роботи швидкого фільтра / А.С. Карагяур, С.П. Бабенко, В.М. Волков // 73 наук.-техн. конф. ХНУБА, 6–7 лютого 2018 р., м. Харків: тези доповідей. – Харків: ХНУБА, 2018. – С. 79–80. (Особистий внесок здобувача: сформульовані деякі способи підвищення брудоемності швидкого зернистого фільтра з застосуванням полімерних пористих волокнистих оболонок дренажних систем).
21. Волков В.М. Рекомендації щодо підвищення ефективності роботи швидкого фільтра / В.М. Волков, С.М. Епоян, А.С. Карагяур, А.А. Тітов // Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: VIII всеукр. наук.

семінар, 09–10 жовтня, 2018 р., м. Харків: тези за матер. – Харків: ХНУБА, 2018. – С. 73–75. (Особистий внесок здобувача: надано рекомендації щодо конструкції пористої волокнистої оболонки дренажної системи в залежності від виду фільтрування).

Патенти

22. Пат. на корисну модель 118971 Україна В01D 24/00, С02F 1/00, Дренажно-розподільний пристрій фільтра з зернистим завантаженням / В.Д. Колотило, В.М. Волков, А.П. Мазняк (Україна): В.Д. Колотило, В.М. Волков, А.П. Мазняк. – № u 201613531; заявл. 28.12.2016; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. (Особистий внесок здобувача: запропоновано пористі волокнисті оболонки дренажно-розподільного пристрою виконувати у вигляді багатошарової конструкції).

АНОТАЦІЯ

Волков В.М. Підвищення ефективності роботи швидких фільтрів шляхом удосконалення дренажних систем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.04 – водопостачання, каналізація (19 – Архітектура та будівництво). – Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2019.

У роботі отримані такі результати: обґрунтовано ефективність використання пористих волокнистих оболонок полімерних дренажних систем для доочищення води, що пройшла зернисте завантаження; удосконалено та розроблено математичні моделі послідовного та паралельного фільтрування малоконцентрованої суспензії крізь шари зернистого та волокнистого завантаження, в тому числі при відведенні частини потоку у нижні шари зернистої засипки; проведено теоретичні та експериментальні дослідження, які дозволили вивчити вплив параметрів споруди вдосконаленої конструкції на ефективність її роботи, а також розробити рекомендації з проектування та експлуатації. Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджена задовільною збіжністю з дослідними даними. Результати роботи впровадженні на спорудах другого підйому другого блоку Комплексу водопідготовки «Донець» відокремленого підрозділу Комунального підприємства «Харківводоканал» та використовуються в розробках ВАТ «Харківський Водоканалпроект», ТОВ «НВП ПРОМІНВЕСТПРОЕКТ».

Ключові слова: швидкий фільтр, кольматація, зернисте завантаження, завислі речовини, дренажна система, полімерна волокниста оболонка, математична модель.

АННОТАЦИЯ

Волков В.Н. Повышение эффективности работы скорых фильтров путем усовершенствования дренажных систем. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04. – водоснабжение, канализация (19 – Архитектура и

строительство). – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, 2019 г.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи – повышению эффективности работы фильтровальных сооружений при подготовке воды для хозяйственно-питьевых нужд. Выполненный анализ существующих решений повышения грязеемкости зернистых фильтров показал перспективность применения пористых волокнистых оболочек полимерных дренажных систем для задержания взвеси в тот момент, когда зернистая загрузка не обеспечивает необходимую степень очистки.

Усовершенствована математическая модель последовательного фильтрования малоцентрированной суспензии через слои зернистой и волокнистой загрузок. Основу модели составляют уравнения: фильтрации; переноса взвешенных веществ потоком фильтрующейся жидкости фильтруется; массопередачи частиц суспензии из воды к твердой фазе.

Усовершенствована математическая модель работы скорого фильтра с отводом части потока из надфильтрового пространства в нижние слои зернистой загрузки и доочисткой на дренажной системе. Разработанная конструкция скорого фильтра с вертикальными дренажными элементами. Фильтрация происходит параллельно через зернистую загрузку и пористые волокнистые оболочки вертикальных дренажей. Разработана математическая модель этого процесса, получено модифицированное уравнение фильтрации.

С помощью разработанных и усовершенствованных математических моделей проведены численные эксперименты. Изучено влияние параметров зернистой и волокнистой загрузок (эквивалентного диаметра зерен или пор, пористости, толщины фильтрующего слоя) на эффективность применения дренажных систем для доочистки. Обоснована эффективность пористой волокнистой оболочки, которая имеет многослойную структуру.

Разработана конструкция экспериментальной установки, а также методика проведения эксперимента. Для проверки достоверности результатов теоретических исследований выполнен анализ сходимости расчетных и опытных данных. Разработаны рекомендации для проектирования и эксплуатации скорых фильтров с усовершенствованной дренажной системой.

Выполнено технико-экономическое сравнение эффективности скорого однослойного фильтра традиционной конструкции с работой фильтров усовершенствованных конструкций. Сравнение показало высокую результативность предлагаемых решений. Технико-экономический эффект в зависимости от конструкции фильтра составляет 600-800 грн на 1 м² фильтрующей поверхности зернистого загрузки. Результаты работы внедрены на сооружениях второго подъема второго блока Комплекса водоподготовки «Донец» обособленного подразделения коммунального предприятия «Харьковводоканал» и используются в разработках ОАО «Харьковский Водоканалпроект», ООО «НПП ПРОМИНВЕСТПРОЕКТ».

Ключевые слова: скорый фильтр, кольматация, зернистая загрузка, взвешенные вещества, дренажная система, полимерная волокнистая оболочка, математическая модель.

ABSTRACT

Volkov V.N. Improvement of the rapid filter's efficiency by enhancement drainage systems. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.23.04 – water supply, sewerage (19 – architecture and construction) – Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, 2019.

The following results were obtained: the effectiveness of the use of porous fibrous shells of polymer drainage systems for the tertiary treatment of water that passed granular loads was substantiated; improved and developed mathematical models of sequential and parallel filtering of a low-concentrated suspension through layers of granular and fibrous loads, including when a part of the flow from is removed to the lower layers of granular loads; theoretical and experimental studies were carried out, which allowed to study the influence of the facility's parameters an improved design on the efficiency of its work, and also to develop recommendations for design and operation. The reliability of the results of theoretical studies is confirmed by satisfactory convergence with experimental data.

The results of the investigations were introduced at the Donets Water Treatment Complex facilities of the second lift of the second unit of a separate subdivision of the Kharkivvodokanal utility company and are used in the developments of Kharkiv Vodokanalproekt and PROMINVESTPROEKT.

Keywords: rapid filter, colmatage, granular load, suspended solids, drainage system, polymer fibrous shell, mathematical model.

Підписано до друку 04.04.2019.
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 примірників. Замовлення №1622.

Надруковано у друкарні ФОП Тарасенко В.П.
Свідоцтво № 24800170000043751 від 21. 02. 2002 р.
61124, м. Харків, вул. Зернова, 6/267.
Тел. /факс: (0572) 52-82-11, (097) 273-11-77