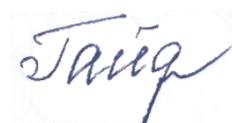


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**ГАЙДУЧОК ОЛЕКСАНДР ГРИГОРОВИЧ**



УДК 628.16

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СПОРУД  
З ОЧИСТКИ МАЛОМУТНИХ КОЛЬОРОВИХ ВОД**

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:** кандидат технічних наук, доцент  
**Сироватський Олександр Анатолійович,**  
Харківський національний університет будівництва та архітектури,  
доцент кафедри водопостачання, каналізація і гідравліки

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Новохатній Валерій Гаврилович,**  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,  
професор кафедри гідравліки, водопостачання та водовідведення;

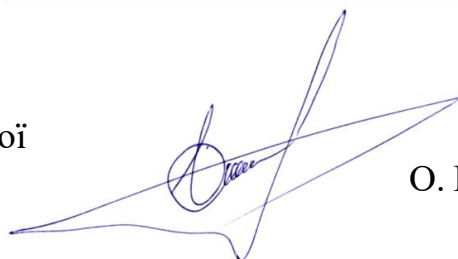
кандидат технічних наук, доцент  
**Нагорна Олена Костянтинівна,**  
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,  
в.о. завідувача кафедри водопостачання, водовідведення та гідравліки

Захист відбудеться «16» травня 2019 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01 Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

Із 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.** подача споживачеві води в необхідній кількості та якості відповідно діючих нормативів є гострим питанням сьогодення. В першу чергу ця проблема пов'язана зі зростанням рівня забрудненості поверхневих водних об'єктів в результаті скиду недостатньо очищених стічних вод від промислових підприємств і міських очисних споруд або від приватних домоволодінь. У зв'язку зі збільшенням чисельності мешканців міст зростає навантаження на очисні споруди, та як наслідок, збільшується ймовірність потрапляння забруднюючих речовин в поверхневі води. Ці води, внаслідок зарегульованості більшості відкритих водних об'єктів України характеризуються невисокими концентраціями (до 50 мг/л) завислих речовин, представлених дрібнодисперсними фракціями (колоїдні речовини, мул, пісок і глина), які обумовлюють мутність води, та значним вмістом органічних домішок (гумінових та дубильних речовин), які зумовлюють кольоровість води..

Традиційною технологічною схемою очищення поверхневих вод для питного водопостачання є двоступенева схема відстійник-фільтр або одноступенева схема з контактними освітлювачами. В сучасних умовах головними недоліками згаданих схем є невисока ефективність затримання дрібнодисперсних часток завислих речовин, а також низька відносна продуктивність споруд, навіть при використанні реагентів.

Одним з головних напрямків інтенсифікації процесів очищення поверхневих вод є впровадження таких конструкцій споруд і технологічних схем, які б забезпечили надійне вилучення з води дрібнодисперсних домішок і зниження кольоровості природної води до нормативних значень.

Перспективними в цьому напрямку є флотаційні методи очищення. Однак, на сьогоднішній день, вони у водопідготовці не набули широкого розповсюдження. Досвід експлуатації існуючих установок напірної флотації для маломутних кольорових вод показує, що відсутні рекомендації та методики з визначення найбільш раціонального режиму роботи таких установок та розрахунку оптимальної конструкції апаратів і технологічних схем в названих умовах. Крім того, не визначений взаємний вплив головних факторів флотаційного процесу та їх раціональні значення.

В зв'язку з цим є актуальним визначення найбільш раціональних параметрів роботи установок напірної флотації і розробка вдосконаленої конструкції флотаційної камери, яка забезпечує ефективне очищення поверхневої води від дрібнодисперсних завислих часток забруднень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до регіональної програми «Екологічне оздоровлення басейну річки Сіверський Донець», а також відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України «Ефективні технології та обладнання з очистки природних вод» (№ держреєстрації 0115U002285), в рамках госпдоговірної науково-дослідної роботи №009/18 «Інтенсифікація

коагулювання води на водоочисних станціях», а також науково-дослідної роботи «Удосконалення фільтрувальних споруд для підготовки питної води» (№ держреєстрації 0118U003493), що проводиться на кафедрі водопостачання, каналізації і гідравліки Харківського національного університету будівництва та архітектури.

**Мета та завдання роботи.** Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування підвищення ефективності роботи споруд з очистки маломутних кольорових вод шляхом вдосконалення конструкції флотатора, яка буде забезпечувати необхідний ефект очистки води від дрібнодисперсних завислих часток при мінімальних експлуатаційних витратах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів очистки природних вод від завислих речовин;
- виконати аналіз ефективності роботи напірного флотатора і визначити напрямок удосконалення конструкції флотаційної камери;
- науково обґрунтувати, визначити конструктивні та технологічні параметри, які впливають на напірно-флотаційний процес;
- розробити математичну модель напірно-флотаційного процесу видалення з води дрібнодисперсних завислих часток;
- виконати техніко-економічну оцінку розроблених технічних рішень і рекомендацій.

**Об'єкт досліджень** – процес видалення з води дрібнодисперсних завислих часток, які обумовлюють мутність та кольоровість, за допомогою напірно-флотаційного методу.

**Предмет дослідження** – технологічні та конструктивні параметри напірного флотатору.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження процесу напірної флотації виконані за допомогою математичної моделі, заснованої на відомих рівняннях масопереносу та масопередачі; експериментальні дослідження виконані в лабораторних умовах на експериментальній установці на модельній воді із застосуванням фізико-хімічних і оптичних методів. Теоретичні та експериментальні результати оброблені за допомогою програмного комплексу Microsoft Excel. Обробка даних проводилась шляхом зіставлення розрахункових та дослідних даних за допомогою сучасних статистичних методів; оцінку надійності та відтворюваності дослідних даних визначено в межах довірчого інтервалу.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- набув подальшого розвитку метод флотаційного очищення маломутних кольорових природних вод поверхневих джерел для питного водопостачання, який дозволяє збільшити ефективність процесу очищення завдяки раціональному вибору співвідношення розмірів бульбашки повітря та завислих часток, швидкості висхідного потоку та конструктивних параметрів вводу води у флотатор;

- вдосконалено математичну модель напірно-флотаційного процесу очистки маломутних кольорових поверхневих вод, яка враховує вплив затриманої бульбашками зависі на швидкість їх спливання, а також такі технологічні і конструктивні параметри як: швидкість висхідного потоку, концентрацію завислих речовин та розмір часток забруднень, крупність бульбашок повітря та їх концентрацію;

- вперше науково обґрунтовано ефективність удосконаленої конструкції флотаційної камери, поперечний перетин якої змінюється по висоті робочої зони.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблена флотаційна камера вдосконаленої конструкції, яка дозволяє значно підвищити якість освітлення води.

Розроблені рекомендації з проектування та розрахунку запропонованої конструкції напірного флотатора. Дані рішення дозволяють суттєво збільшити ефективність вилучення дрібнодисперсних часток завислих речовин і зменшити використання реагентів (коагулянтів та флокулянтів).

Результати дисертаційної роботи використовуються у розробках ВАТ «Харківський Водоканалпроект», ТОВ «НПП ПРОМІНВЕСТПРОЕКТ».

#### **Особистий внесок автора.**

Наукові результати, викладені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто на підставі теоретичних та експериментальних досліджень, які спрямовані на удосконалення методів очищення вод поверхневих джерел з малою мутністю та кольоровістю для господарсько-питного водопостачання.

Автором сформульовано мету, завдання дисертаційного дослідження, проведено аналіз сучасних методів підвищення ефективності роботи водоочисних споруд, вибрано фактори, які впливають на напірно-флотаційний процес очищення маломутних кольорових вод, розроблено методику, організацію та проведення експериментальних досліджень, щодо підвищення ефективності очищення напірною флотацією маломутних кольорових вод. Отримані математичні моделі процесу очищення напірною флотацією поверхневих вод з малою мутністю при різних конструктивних варіантах пристрою. Проведені чисельні дослідження впливу основних конструктивних і технологічних параметрів на ефективність її роботи. Розроблені рекомендації з розрахунку, проектування та експлуатації флотаційного методу при очищенні поверхневих вод з малою мутністю та кольоровістю для питного водопостачання.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні результати та головні положення дисертаційної роботи були викладені на науково-технічних конференціях і семінарах Харківського національного університету будівництва та архітектури (2015-2018 р.р); міжнародних науково-практичних конференціях «Водокористування: Технологія; Споруди; Менеджмент» (м. Київ, 2016, 2017 р.р.); VIII міжнародній науковій

конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» (м. Харків, 2017 р.); міжнародному конгресі та технічній виставці «ЕТЕВК-2017» (м. Чорноморськ, 2017р.), міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології» (м. Одеса, 2017р.); науково-практичних конференціях: «Меліорація та водокористування – складові сталого розвитку водогосподарського комплексу країни Присвячено 85-річчю ВСП «Мелітопольський коледж ТДАТУ» (м. Мелітополь, 2016 р.); «Меліорація та водовикористання – сталий розвиток водогосподарського комплексу країни". З нагоди Всесвітнього дня водних ресурсів. Присвячується 19-й річниці Університету «Україна»» (м. Мелітополь, 2017 р.); «Меліорація та водовикористання – екологічна безпека водних об'єктів. З нагоди Всесвітнього дня водних ресурсів» (м. Мелітополь, 2018р.);

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові роботи, зокрема 6 у спеціалізованих виданнях України та виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 2 у інших виданнях, 14 тез доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 165 найменувань, 3 додатків і вміщує 49 рисунків та 8 таблиць по тексту, усього 139 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 результатів, зазначено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проаналізовано стан проблеми очистки маломутних кольорових вод поверхневих джерел для господарсько-питного водопостачання та підвищення ефективності роботи споруд з їх очистки.

Зазначено, що традиційні технології і споруди для очистки таких вод мають низку суттєвих недоліків. До них відносяться: недостатня ефективність очищення (особливо в осінньо-весняний період), розміри споруд, великі експлуатаційні та енергетичні затрати, застосування вартісних реагентів.

Аналіз сучасних літературних джерел з очистки поверхневих вод показав перспективність використання напірної флотації як технології водопідготовки. Фізичні та хімічні властивості бульбашок повітря, які виділяються при напірній флотації, допомагають видалити з води дрібнодисперсні завислі речовини, та природні органічні речовини, що зумовлюють кольоровість води.

Значний внесок у розвиток очистки природних вод і уявлень про флотаційні методи внесли вчені як М.М. Абрамов, К.Ф. Белоглазов,

О.С. Богданов, А.М. Годен, П.О. Грабовський, Б.В. Дерягін, С.С. Душкін, С.С. Духін, С.М. Епоян, М.Г. Журба, А.С. Карагяур, М.М. Классен, В.А. Ковальчук, А.І. Мацнев, В.І. Мелик-Гайказян, О.К. Нагорна, В.Г. Новохатній, О.Я. Олійник, В.О. Орлов, В.Л. Поляков, І.М. Плаксін, В.Й. Прогульний, Ю.Б. Рубінтшейн, О.А. Сироватський, А.М. Тугай, В.Ф. Фоміна, П.Д. Хоружий, W.B. Becker, B.J. Beckerton, J.K. Ezwald, J. Haarhoff, M. Han, H. Kong., K. Fukushi, B.A. Lakghomi, D.M. Lepinnen, P.F. Linden, K.A. Maia, Y. Matsui, R.V. Moruzzi, T. Schofield та ін.

Таким чином, дослідження, направлені на підвищення ефективності роботи установок напірної флотації при підготовці води для питного водопостачання шляхом вдосконалення конструкції напірного флотатора та визначення найбільш раціональних параметрів його експлуатації, є актуальними.

У **другому розділі** проведені теоретичні дослідження з вивчення сутності та кінетики напірної флотації при очищенні маломутних вод, визначені найбільш значущі фактори, які впливають на процес. До них відносяться: тиск і час насичення повітрям води, температури води, розмір часток забруднення та бульбашок повітря, ймовірність зіткнення їх у водному розчині. Оцінено значення константи флотаційного процесу для дрібнодисперсних часток забруднення. Представлена удосконалена математична модель процесу очищення малоконцентрованої суспензії методом напірної флотації.

Встановлено, що при збільшенні діаметру бульбашки константа флотаційного процесу стрімко зменшується. Це значно впливає на процес видалення забруднень. Тому, для ефективного видалення часток забруднення 1-2 мкм розмір бульбашок повинен складати від 15 до 40 мкм (рис .1).

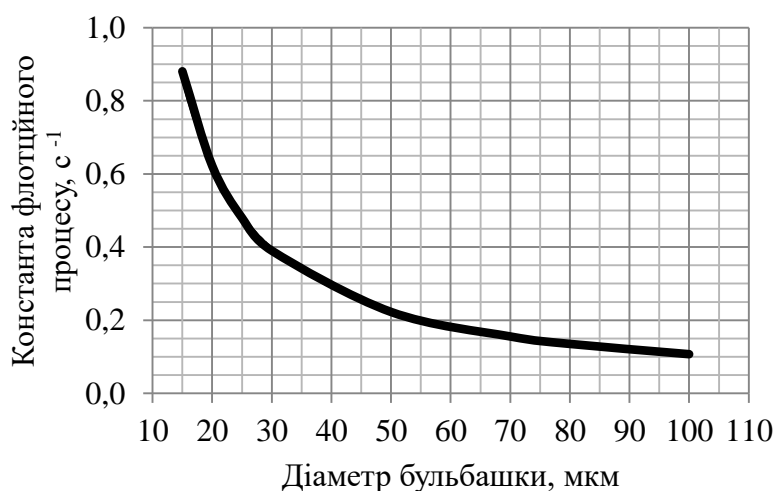


Рис. 1 – Залежність константи флотаційного процесу від розміру бульбашки (при розмірі завислої частки 2 мкм)

Апроксимаційна залежність виглядає наступним чином:

$$K = 17,1 \cdot (d_{bub})^{-1,106} \quad (1)$$

де  $d_{bub}$  – діаметр бульбашки, мкм.

Удосконалена математична модель базується на наступних рівняннях та залежностях.

Рівняння переносу концентрації завислих речовин потоком рідини, що очищується:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + W \frac{\partial C}{\partial z} = D_C \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - bKC, \quad (2)$$

де  $t$  – час, с;  $z$  – вертикальна координата, м, точка  $z = 0$  відповідає нижньому краю робочої зони;  $W$  – швидкість висхідного руху води, м/с;  $C$  – концентрація завислих речовин у воді, кг/м<sup>3</sup>;  $D_C$  – коефіцієнт дифузії концентрації завислих речовин, м<sup>2</sup>/с;  $b$  – об'ємна концентрація бульбашок (повітря) у воді.

Рівняння переносу концентрації бульбашок (повітря)

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial((W + u_{bub})b)}{\partial z} = D_b \frac{\partial^2 b}{\partial z^2}, \quad (3)$$

де  $u_{bub}$  – швидкість спливання бульбашки у нерухомій воді, м/с;  $D_b$  – коефіцієнт дифузії концентрації бульбашок, м<sup>2</sup>/с.

Значення параметру  $u_{bub}$  можна знайти за допомогою формули Стокса:

$$u_{bub} = \frac{g(\rho_w - \rho_{agr})d_{bub}^2}{18\mu}, \quad (4)$$

де  $\rho_w$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{agr}$  – густина агрегату бульбашка-частка зависі, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{bub}$  – діаметр бульбашки, м;  $\mu$  – динамічна в'язкість, Па·с.

В процесі спливання до бульбашки приєднуються частки зависі, густина агрегату бульбашка-частка зростає. Зміну густини агрегату в процесі спливання можна оцінити за допомогою залежності:

$$\rho_{agr} = \frac{\rho_{air} + \frac{S}{b}}{1 + \frac{S}{b} \frac{1}{\rho_{ss}}}, \quad (5)$$

де  $S$  – концентрація завислих часток на бульбашках, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ss}$  – густина частки зависі, кг/м<sup>3</sup>.

Концентрацію завислих часток на бульбашках знаходимо за допомогою рівняння масопередачі:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial((W + u_{bub})S)}{\partial z} = KC. \quad (6)$$

Рівняння (6) містить конвективну складову  $\frac{\partial((W + u_{bub})S)}{\partial z}$ , яка враховує те, що зміна параметру  $S$  в даній точці з координатою  $z$  відбувається не тільки по причині передачі зависі з рідини, а і в результаті руху бульбашок зі швидкістю  $W + u_{bub}$ .

Якщо площа поперечного перетину  $F$  робочої частини флотатора змінюється по висоті, то рівняння масопереносу (2) та (3) приймуть вигляд:



$$F \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(FWC)}{\partial z} = D_c \frac{\partial}{\partial z} \left( F \frac{\partial C}{\partial z} \right) - FbKC, \quad (7)$$

$$F \frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial(F(W + u_{bub})b)}{\partial z} = D_b \frac{\partial}{\partial z} \left( F \frac{\partial b}{\partial z} \right). \quad (8)$$

Враховано зміну швидкості руху води в результаті стиснення потоку бульбашками:

$$W(z, t) = \frac{Q}{F} \left( 1 - \frac{\pi}{4} \left( \frac{6b}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{-1}. \quad (9)$$

Система рівнянь (2)-(9) вирішується при наступних початкових та граничних умовах:

при  $t = 0$   $C(z, 0) = C_0$ , де  $C_0$  – концентрація зависі у вихідній воді,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $b(z, 0) = 0$ ;

при  $z = 0$   $\frac{\partial C(0, t)}{\partial z} = W(C(0, t) - C_0)$ ;  $\frac{\partial b(0, t)}{\partial z} = (W + u(0, t))(b(0, t) - b_0)$ ,

де  $b_0$  – концентрація бульбашок (повітря) на початку робочої зони після змішування потоку вихідної води та потоку насиченого повітрям;

при  $z = H$  (висота робочої зони флотатора)

$$\frac{\partial C(H, t)}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial b(H, t)}{\partial z} = 0.$$

Система рівнянь (2)-(9) вирішується чисельно за допомогою метода кінцевих різниць.

У **третьому розділі** обґрунтовано вдосконалення конструкції флотатора для підвищення ефективності його роботи. За допомогою математичної моделі проведено дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів флотатора на якість очищення.

У якості основних конструктивних та технологічних параметрів, які впливають на процес розглядалися наступні величини:

- діаметр (радіус) частки зависі,  $r$ ;
- діаметр бульбашки,  $d_{bub}$ ;
- середня швидкість руху потоку,  $W$ ;
- висота робочої частини,  $H$ ;
- концентрація повітря у вихідній воді  $b_0$ .

У якості критерію ефективності, на який впливають дані параметри, приймали якість очищення, що представляє собою відношення концентрацій зависі в очищеній та вихідній воді  $C_1/C_0$ .

На рис. 2 - 5 представлені приклади розрахунків залежності вказаних факторів.

Аналіз даних на рис. 2-5 дозволяє зробити такі висновки. Зі зменшенням крупності зависі зменшується ймовірність зустрічі бульбашки та частки твердої фази, а також її захвату бульбашкою (рис. 2). При зменшенні діаметру бульбашки збільшується їх кількість на одиницю об'єму,

відповідно зростає ймовірність зустрічі їх з частками зависі, збільшується константа флотаційного процесу, процес очищення покращується (рис. 2-5). Зі зменшенням швидкості руху або зі збільшенням висоти робочої частини подовжується тривалість перебування бульбашок в зоні очищення, зростає ймовірність закріплення на них часток зависі та, відповідно, якість очищення зростає (рис. 3,4). З підвищенням вмісту повітря у вихідній воді якість очищення різко покращується (рис. 5). Утворюється більша кількість бульбашок, процес масопередачі завислих речовин з рідкої фази до газоподібної йде набагато інтенсивніше.

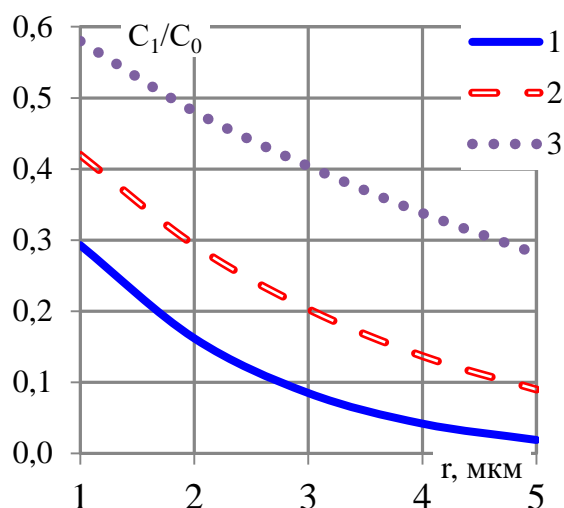


Рис. 2 – Залежність якості очищення від розмірів частки зависі та бульбашки:

1 –  $d_{\text{bub}} = 15$  мкм; 2 –  $d_{\text{bub}} = 20$  мкм;  
3 –  $d_{\text{bub}} = 30$  мкм

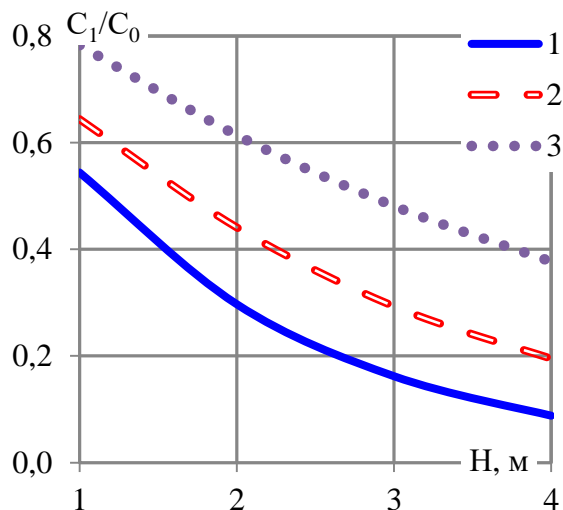


Рис. 3 – Залежність якості очищення від висоти робочої частини та діаметру бульбашок:

1 –  $d_{\text{bub}} = 15$  мкм; 2 –  $d_{\text{bub}} = 20$  мкм;  
3 –  $d_{\text{bub}} = 30$  мкм

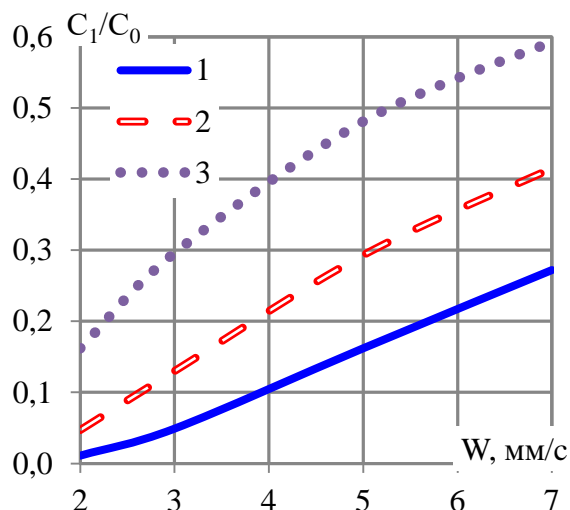


Рис. 4 - Залежність якості очищення від середньої швидкості потоку та діаметру бульбашок:

1 –  $d_{\text{bub}} = 15$  мкм; 2 –  $d_{\text{bub}} = 20$  мкм;  
3 –  $d_{\text{bub}} = 30$  мкм

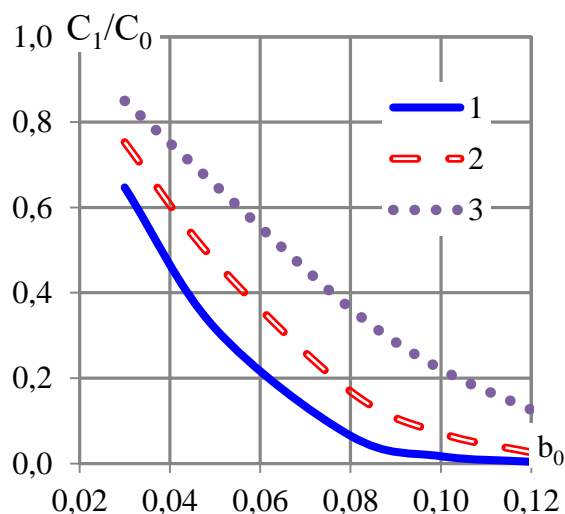


Рис. 5 - Залежність якості очищення від концентрації повітря у вихідній воді та діаметру бульбашок:

1 –  $d_{\text{bub}} = 15$  мкм; 2 –  $d_{\text{bub}} = 20$  мкм;  
3 –  $d_{\text{bub}} = 30$  мкм

Встановлено, що в процесі проектування варіювати можливо висотою робочої зони, продуктивністю (швидкістю руху потоку), концентрацією повітря у вихідній воді; в процесі експлуатації – швидкістю руху води та концентрацією повітря. Зменшення швидкості руху потоку потребує більшої кількості флотаторів для забезпечення загальної продуктивності водоочисної станції. Збільшення концентрації повітря можливе за рахунок насичення води газом під більшим тиском, що потребує більших затрат енергії.

На основі даних чисельного експерименту отримано регресійну залежність якості очищення води від основних конструктивних та технологічних параметрів флотаційної камери, яка дозволяє проводити інженерні розрахунки.

В результаті досліджень, проведених на основі математичній моделі, запропоновано конструкцію флотаційної камери, робоча частина якої має конусоподібну форму: площа поперечного перетину лінійно зменшується знизу догори по висоті (рис. 6), у порівнянні з традиційною (циліндричною) конструкцією. Рациональне значення відношення дорівнює:  $F_1/F_2=2\div 3$ , де  $F_1$  – площа нижньої основи,  $m^2$ ;  $F_2$  – площа верхньої основи,  $m^2$ . Встановлено, що при збільшенні значення цього співвідношення, очищення відбувається менш інтенсивно (рис. 7).

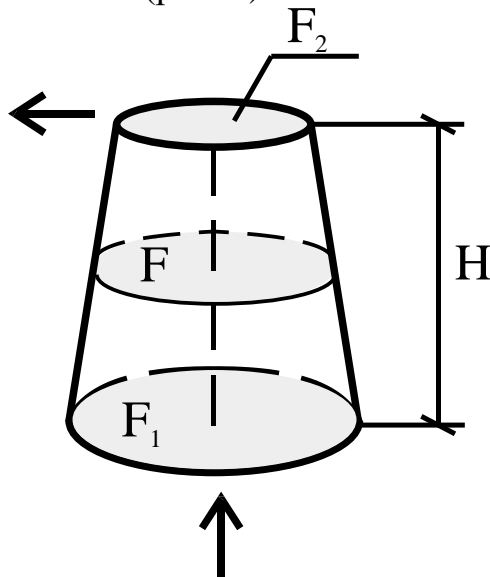


Рис. 6 – Схема удосконаленої конструкції флотаційної камери

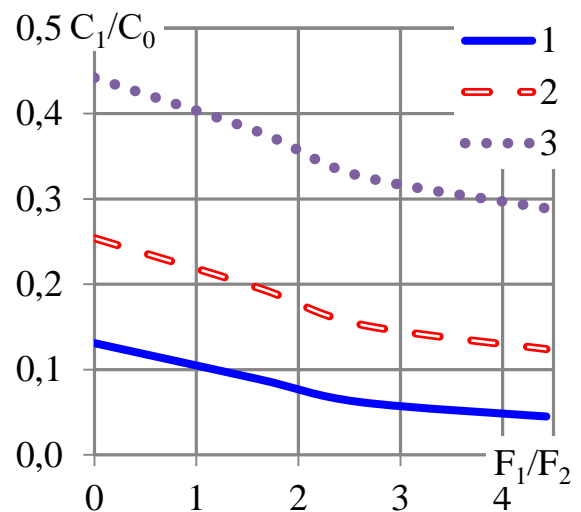


Рис. 7 – Вплив параметру  $F_1/F_2$  та діаметру бульбашок на якість очищення у флотаторі удосконаленої конструкції:

1 –  $d_{bub} = 15 \mu m$ ; 2 –  $d_{bub} = 20 \mu m$ ;  
3 –  $d_{bub} = 30 \mu m$

**У четвертому розділі** викладено методику проведення лабораторних досліджень на флотаційній установці, організації експериментів й оброблення експериментальних даних.

Метою експериментальних досліджень була перевірка адекватності розробленої математичної моделі процесу напірної флотації при видаленні з

води дрібнодисперсних твердих часток забруднень, а також перевірка достовірності результатів теоретичних досліджень з визначення раціональних конструктивних та технологічних параметрів споруди.

Схема експериментальної лабораторної установки показана на рис. 8. Вихідна вода з ємності (1) вібраційним занурювальним насосом (2) подається по трубопроводу в сатуратор (5). Засувка (10) знаходиться в закритому стані, а засувки (3) та (9) – відкриті. Під час транспортування вода насичується повітрям за допомогою ежектора (4), розташованого на напірному трубопроводі насоса. Ежектор, працюючи за законом (рівнянням) Бернуллі, створює в звужуючому перетині знижений тиск водного середовища, що викликає підсмоктування в потік повітря та інтенсивне перемішування його з водою. Після надходження до сатуратора, вода насичується розчиненим повітрям під тиском. Регулювання тиску насичення здійснювали за допомогою манометру (8). Це дозволило наситити повітрям вихідну воду до межі розчинності при заданому тиску та температурі. Після насичення та розчинення повітря у воді засувки (3) та (9) закриваються, а (10) відкривається. Водоповітряна суміш по трубопроводу (7) подається у відкриту флотаційну камеру (6).

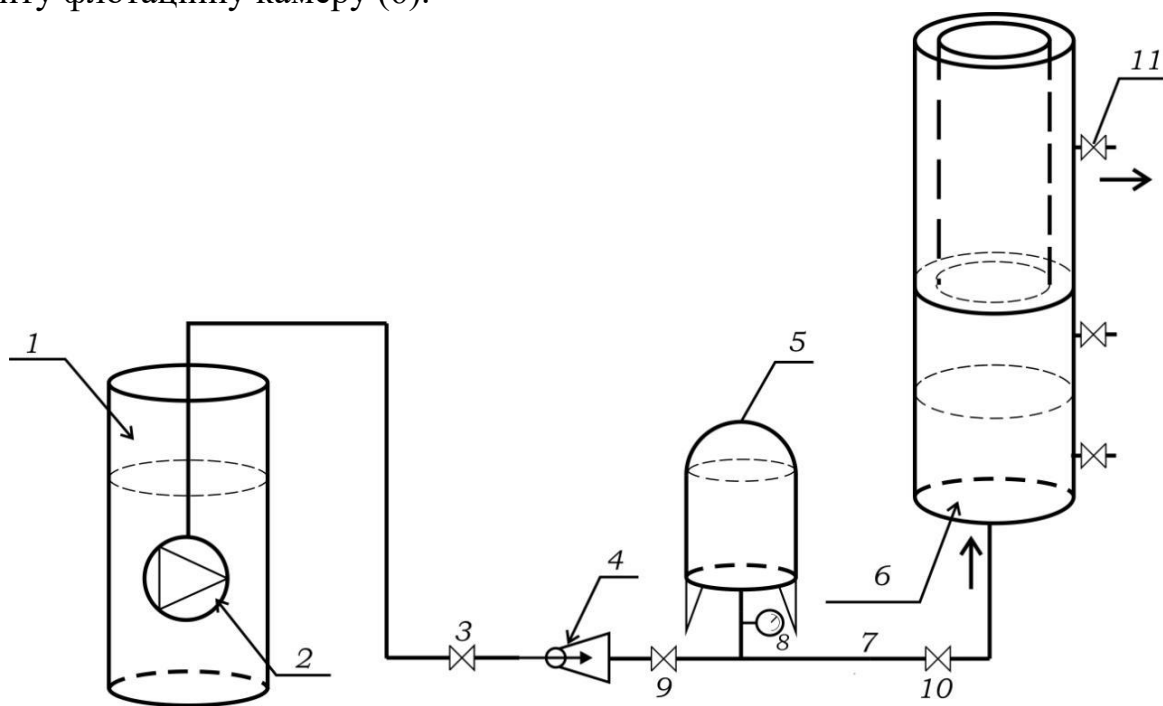


Рис. 8 – Схема експериментальної установки напірної флотації: 1 – бак вихідної води; 2 – насос; 3,9,10 – засувки; 4 - ежектор; 5 – сатуратор; 6 – флотаційна камера; 7 – трубопровід; 8 – манометр; 11 – випуск очищеної води

Установка дозволяє змінювати конструкцію флотаційної камери, організовуючи звуження у верхній частині. Це досягається розміщенням циліндру меншого діаметру (100 мм) в верхній частині. Основний корпус має діаметр 150 мм. Простір між двома циліндрами заглушений таким чином,

щоб туди не попадала вода з нижньої зони флотаційної камери. В боковій частини камери передбачений випуск (11) для очищеної води, відбору проб і контролю за продуктивністю установки.

При потраплянні до флотаційного резервуару, внаслідок падіння тиску до атмосферного, з перенасиченого водоповітряного розчину виділяються дрібнодисперсні бульбашки повітря. Під дією різниці густин бульбашки та води, перші підіймаються у флотаторі прямолінійно та захоплюють завислі частки дрібнодисперсних забруднень. Утворені при цьому агрегати «бульбашка-частка» продовжують прямолінійно підійматися на поверхню, де утворюють пінний шар. Через випуск (11), який встановлено у верхній частині флотаційної камери, відбирали очищену воду на дослідження за показниками мутності і кольоровості.

Витрату води при проведенні експерименту вимірювали об'ємним методом через штуцер (11), показники мутності і кольоровості контролювали оптичним способом.

Вихідну суспензію для проведення експериментів готували за допомогою замутнювача, а саме річкового осаду, що складається з мулових відкладень, відібраних з ковша водозабору Комплексу водопідготовки «Донець» відокремленого підрозділу КП «Харківводоканал». Оцінено крупність часток даного замутнювача. Вона відповідає крупності часток забруднень в маломутних водах. Замутнювач додавали в водопровідну воду.

Гідравлічне навантаження лабораторної установки прийнято  $10-40 \text{ л/год} \times \text{м}^2$ .

В процесі проведення експерименту контролювали такі параметри: продуктивність установки, мутність і кольоровість вихідної та очищеної води, тиск і час насичення води в сатураторі.

Параметри варіювались в таких межах:

- концентрація завислих речовин у вихідній суспензії – 10 – 50 мг/л;
- кольоровість вихідної води – 50 – 120 град;
- тиск в сатураторі – 0,3 – 0,7 МПа.

У якості параметру, на який впливають указані фактори, приймали відносну концентрацію  $C/C_0$ , де  $C$  – концентрація завислих речовин в очищеній воді після флотаційної камери, мг/л;  $C_0$  – концентрація завислих речовин у вихідній воді, мг/л.

На рис. 9 представлено результати співставлення розрахункових і дослідних даних для проведеної серії експериментів.

Через те, що параметр  $C/C_0$  залежить від багатьох факторів (тиск, продуктивність установки), то для можливості представлення на одному графіку всіх даних, отриманих при різних параметрах, порівняння розрахункових і дослідних значень виконано в координатах  $(C/C_0 - (C/C_0)_{\text{розрах}})$  (рис. 9), де  $(C/C_0)_{\text{розрах}}$  – розрахункові значення даного параметру за математичною моделлю.

Виконане порівняння розрахункових і дослідних даних підтверджує адекватність розробленої математичної моделі процесу флотації маломутних природних вод у флотаційній камері вдосконаленої конструкції.

У п'ятому розділі представлені розроблені рекомендації для проектування та розрахунку напірного флотатора вдосконаленої конструкції, а також технологічна схема очистки маломутних кольорових вод методом напірної флотації. Ці рекомендації дозволяють вибрати найбільш раціональні параметри роботи установки, а саме кількість повітря для проведення процесу флотації, тиск насичення повітрям води, розміри бульбашок повітря, продуктивність і геометричні розміри споруди.

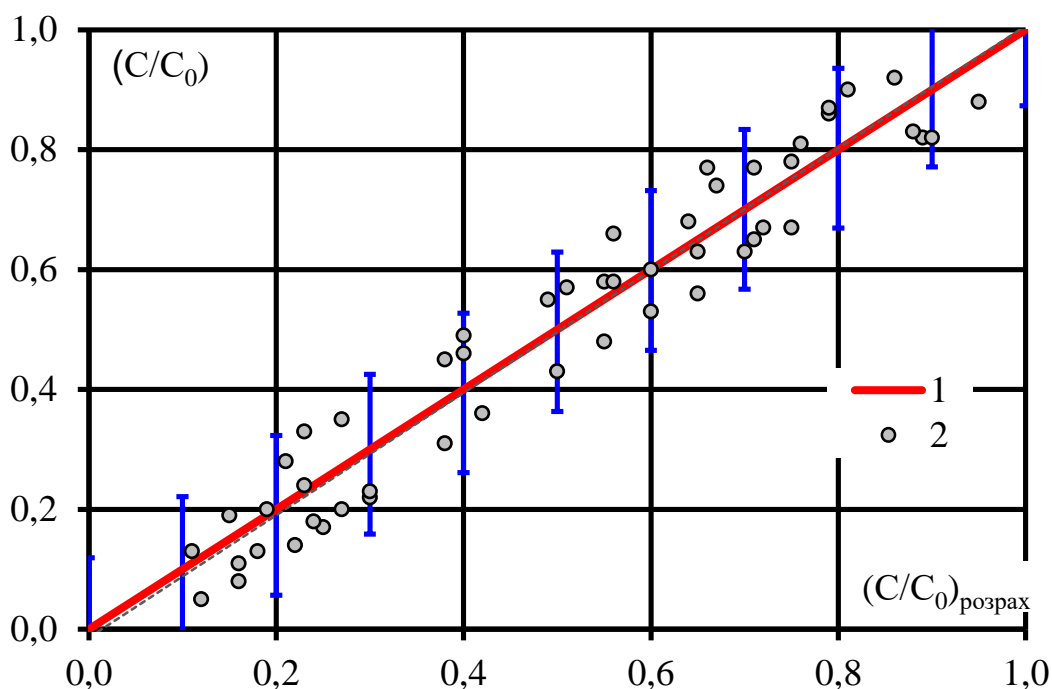


Рис. 9 – Співставлення дослідних і розрахункових результатів:  
1 – розрахункові дані, 2 – дослідні дані

Запропонована конструкція флотатора дозволяє ефективно вилучати дрібнодисперсні нерозчинні домішки з ефективністю 80 – 90%.

Виконано техніко-економічне порівняння ефективності роботи напірних флотаторів традиційної та вдосконаленої конструкцій при вилученні з маломутних кольорових вод дрібнодисперсних завислих домішок, яке показало високу результативність запропонованих рішень. На флотаторі вдосконаленої конструкції ефективність затримання дрібнодисперсних часток завислих речовин збільшується, крім того, збільшується енергоефективність установки за рахунок більш раціональних параметрів тиску насичення та кількості води, яка подається в сатуратор. Річний техніко-економічний ефект від впровадження флотатора розробленої конструкції складає 351 тис. грн при продуктивності установки 500 м<sup>3</sup>/год і ефекті очищення 85%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано підвищення ефективності роботи споруд з очистки маломутних кольорових вод шляхом вдосконалення конструкції флотатора, яка буде забезпечувати необхідний ефект очистки води від дрібнодисперсних завислих часток при мінімальних експлуатаційних витратах. У результаті проведення дисертаційних досліджень були отримані основні висновки, які можна звести до наступного:

1. Виконаний в роботі аналіз існуючих рішень підвищення ефективності роботи установок напірної флотації при очищенні питних вод показав, що для удосконалення роботи цих споруд необхідно визначити найбільш значущі фактори, що впливають на процес і їх взаємний вплив, на основі чого вибрати раціональні параметри роботи напірного флотатора та його конструктивні елементи.
2. Проведено теоретичні дослідження методу напірної флотації при очищенні маломутних вод, які дозволили визначити найбільш значущі фактори, які впливають на ефективність процесу. До них відносяться: тиск і час насичення повітрям води, розмір і форма часток забруднення та бульбашок повітря, ймовірність зіткнення їх у воді.
3. Оцінено числове значення константи флотаційного процесу для різних часток забруднення, що дозволяє проводити розрахунки для маломутних природних вод.
4. Вдосконалено математичну модель напірно-флотаційного процесу очистки маломутних кольорових поверхневих вод, яка дозволяє врахувати вплив затриманої бульбашками зависі на швидкість їх спливання, а також основні технологічні та конструктивні параметри.
5. За допомогою удосконаленої математичної моделі очищення малокоцентрованої суспензії флотацією проведено чисельні дослідження, які дозволили вивчити вплив на якість очищення води основних конструктивних і технологічних параметрів: діаметру бульбашок, розміру часток зависі, швидкості потоку, висоти робочої зони, концентрації повітря у вихідній воді.
6. Розроблено ряд удосконалень флотаційного апарату, а саме, виконання робочої частини зі змінним по висоті поперечним перетином, які дозволяють інтенсифікувати процес масопередачі зависі з рідкої фази до газоподібної та підвищити якість очищення.
7. На лабораторній установці проведені експериментальні дослідження, які дозволили виконати оцінку достовірності результатів теоретичних досліджень, та адекватності математичної моделі.
8. Розроблено рекомендації для проектування та розрахунку напірного флотатора вдосконаленої конструкції для очистки маломутних кольорових вод поверхневих джерел, який включено в загальну технологічну схему двоступеневої очистки. Ці рекомендації дозволяють вибрати оптимальний режим роботи флотатора, розрахувати раціональні параметри напірної флотації, визначити розміри головних конструктивних елементів

- розробленої установки, що забезпечують максимальну ефективність роботи напірного флотатора.
9. Виконано техніко-економічне порівняння ефективності роботи напірних флотаторів традиційної та вдосконаленої конструкції, яке показало високу результативність запропонованих рішень. Річний техніко-економічний ефект від впровадження флотатора розробленої конструкції складає 351 тис. грн для установки продуктивністю 500 м<sup>3</sup>/год.
  10. Результати роботи впровадженні в розробках ВАТ «Харківський Водоканалпроект», ТОВ «НПП ПРОМІНВЕСТПРОЕКТ».

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

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

1. Сыроватский А.А. Пути повышения эффективности очистки природных маломутных цветных вод методом напорной флотации / А.А. Сыроватский, С.П. Бабенко, А.Г. Гайдучок, Ю.М. Рыбачук // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015.– № 2 (80) – С. 209-213. (Особистий внесок здобувача: виконано теоретичний аналіз основних факторів (тиск, температура води, час насичення та спосіб взаємодії бульбашки з часткою), які впливають на процес напірної флотації при очищенні води від дрібнодисперсних часток забруднень).

2. Сыроватский А.А. Повышение качества очистки маломутных цветных вод / А.А. Сыроватский, А.Г. Гайдучок // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015.– № 4 (82) – С. 154-158. (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз впровадження напірної флотації на станціях водопідготовки).

3. Эпоян С. Моделирование процесса флотационной очистки маломутных цветных вод / С. Эпоян, А. Сыроватский, А. Гайдучок // MOTROL// Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016.- Volume 18, №6.- P.11-18. (Index Copernicus). (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз залежностей для математичного моделювання напірно-флотаційного процесу очищення маломутних кольорових вод).

4. Сироватський О.А. Теоретичні аспекти напірної флотації малокаламутних кольорових вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. - №2(84). – С.296-299. (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз основних теоретичних аспектів напірної флотації при очищенні маломутних кольорових вод).



5. Сироватський О.А. Математичне моделювання напірно-флотаційного процесу очищення малокаламутних кольорових вод поверхневих джерел для господарсько-питного водопостачання / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн.зб. – К.:КНУБА, 2017. - №28. – С.303-308. (Особистий внесок здобувача: виконано теоретичне дослідження залежності ефекту видалення часток забруднення від конструктивних параметрів флотаційної камери).

6. Сироватський О.А. Визначення ймовірності зіткнення завислої частки з повітряною бульбашкою при очищенні природних вод флотаційними методами / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017.– №2 (88) – С. 243-245. (Index International Innovative Journal Impact Factor (IIJIF) [Scientific Bulletin of Civil Engineering]). (Особистий внесок здобувача: виконано теоретичне дослідження ймовірності зіткнення частки забруднення з повітряною бульбашкою при флотаційному процесі).

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

7. Сироватський О.А. Метод очистки малокаламутних кольорових вод і методика проведення досліджень / О.А. Сироватський, Н.Д. Сізова, В.М. Фірман, О.Г. Гайдучок // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. - №4(86). – С.228-232. (Особистий внесок здобувача: доведена перспективність впровадження напірно-флотаційного методу для очищення поверхневих природних вод, розроблено методику проведення експериментальних досліджень).

8. Сироватський О.А. Основні математичні закономірності розрахунку флотаційного процесу / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн.зб. – К.:КНУБА, 2016. - №27. – С.345-351. (Особистий внесок здобувача: розглянуті основні математичні закономірності флотаційного процесу та основні фактори, які впливають на процес очистки).

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

9. Сироватський О.А. Теоретичні аспекти напірної флотації малокаламутних кольорових вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // 71-а наук.-техн. конф. ХНУБА, 15 – 17 березня 2016 р., м. Харків: тези доповідей. – Харків: ХНУБА, 2016. – С.35. (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз основних теоретичних аспектів напірної флотації при очищенні маломутних кольорових вод).

10. Сироватський О.А. Перспективи впровадження методу флотації для очистки малокаламутних кольорових вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок// Меліорація та водовикористання – складові сталого розвитку водогосподарського комплексу країни. Присвячено 85-річчю ВСП «Мелітопольський коледж ТДАТУ»: нак.-практ. конф., 30 вересня 2016р., м. Мелітополь: тези за матер. – Мелітополь: НВЦ «Запоріжгідропроєкт», 2016. –

С.32–34. (Особистий внесок здобувача: розглянуто перспективність впровадження напірної флотації на станціях водопідготовки).

11. Сироватський О.А. Дослідження взаємодії частинок забруднення з бульбашками газу при напірній флотації/ О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок// Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: VII всеукр. наук. семінар, 11 – 12 жовтня, 2016р., м. Харків: тези за матер. – Харків: ХНУБА, 2016. – С.16 – 18. (Особистий внесок здобувача: розглянуто взаємодію часток забруднення, які обумовлюють каламутність води, з повітряними бульбашками).

12. Сироватський О.А. Основні математичні закономірності розрахунку флотаційного процесу/ О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Водокористування: технології, споруди, менеджмент: III міжнар. наук.-практ. конф., 7 – 9 грудня 2016р., м. Київ: робоча програма та тези доповідей. – К.: КНУБА, 2016. – С. 19. (Особистий внесок здобувача: розглянуті основні математичні закономірності флотаційного процесу та основні фактори, які впливають на процес очистки).

13. Сироватський О.А. Визначення константи флотаційного процесу при очищенні малокаламутних кольорових вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // 72 наук.-техн. конф. ХНУБА, 14 – 17 березня 2017р., м. Харків: тези доповідей. – Харків: ХНУБА, 2017. – С.59 – 60. (Особистий внесок здобувача: запропонована методика визначення константи флотаційного процесу).

14. Сироватський О.А. Константа швидкості флотаційного процесу при очищенні малокаламутних кольорових вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Матер. наук.– практ. конф. "Меліорація та водовикористання – сталий розвиток водогосподарського комплексу країни". З нагоди Всесвітнього дня водних ресурсів. Присвячується 19-й річниці Університету «Україна», 17 березня 2017 р., м. Мелітополь. – Мелітополь: Мелітопольський інститут екології та соціальних технологій ВМУРол «Україна», 2017. – С. 35-37. (Особистий внесок здобувача: проведено аналіз складових рівняння константи флотаційного процесу).

15. Сироватський О.А. Експериментальне дослідження очищення малокаламутних кольорових вод флотаційними методами / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Зб.доповідей Міжнар. конгр. та техн. виставці "Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація" (ЕТЕВК-2017). – м. Чорноморськ 12-16 червня 2017 р. – С.102-103. (Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень з очистки малокаламутної води напірно-флотаційним методом і оброблення експериментальних даних).

16. Епоян С.М. Напірна флотація як енергоефективний метод очищення малокаламутних кольорових вод для питного водопостачання / С.М. Епоян, О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Зб.доповідей Міжнар. конгр. та техн. виставці "Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація" (ЕТЕВК-2017). – м. Чорноморськ 12-16 червня 2017 р. – С.107-

109. (Особистий внесок здобувача: показано напрямки підвищення ефективності очищення природних вод для господарсько-питного водопостачання за рахунок впровадження напірно-флотаційного методу).

17. Сироватський О.А. Основні фактори флотаційного процесу при очищенні малокаламутних кольорових природних вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології: міжнар. наук.-техн. конф., 10 – 11 жовтня 2017р., м. Одеса: матер. конф. - Одеса: ОДАБА, 2017.- С. 131-132. (Особистий внесок здобувача: розглянуті фактори (форма та розмір частки та бульбашки), які впливають на ефективність флотаційного процесу очистки маломутних кольорових вод).

18. Сироватський О.А. Напірна флотація – сучасна технологія очищення малокаламутних кольорових вод для питного водопостачання / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд: VIII міжнар. наук. конф., 18 – 19 жовтня 2017р., м. Харків: тези за матер. – Харків: ХНУБА, 2017. - С. 92-93. (Особистий внесок здобувача: науково доведена перспективність напірно-флотаційного методу очищення маломутних кольорових вод поверхневого джерела для господарсько-питного водопостачання).

19. Сироватський О.А. Математичне моделювання напірно-флотаційного процесу очищення малокаламутних кольорових вод поверхневих джерел для господарсько-питного водопостачання / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Водокористування: технології, споруди, менеджмент: IV міжнар. наук.-практ. конф., 14 – 15 грудня 2017р., м. Київ: робоча програма та тези доповідей. – К.: КНУБА, 2017. – С.20. (Особистий внесок здобувача: отримана математична модель напірно-флотаційного процесу очищення вод в яких містяться дрібнодисперсні частки забруднення).

20. Сироватський О.А. Дослідження напірно-флотаційного процесу очищення малокаламутних кольорових вод поверхневих джерел / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // 73 наук.-техн. конф. ХНУБА, 6 – 7 лютого 2018 р., м. Харків: тези доповідей. – Харків: ХНУБА, 2018. – С. 78 – 79. (Особистий внесок здобувача: розроблені конструктивні параметри установки напірної флотації при очищенні малокаламутних кольорових вод).

21. Сироватський О.А. Дослідження напірно-флотаційного процесу очищення малокаламутних кольорових вод / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Меліорація та водовикористання – екологічна безпека водних об'єктів. З нагоди Всесвітнього дня водних ресурсів: наук.-практ. конф., 30 березня 2018р., м. Мелітополь: матер. конф. – Мелітополь: Відділ з благоустрою та екології ММР 30, 2018. – С. 19 – 21. (Особистий внесок здобувача: розраховані технологічні параметри процесу напірно-флотаційного очищення маломутних кольорових вод).

22. Сироватський О.А. Розрахунок константи флотаційного процесу для завислих часток при напірно-флотаційному очищенні / О.А. Сироватський, О.Г. Гайдучок // Методи підвищення ресурсу міських

інженерних інфраструктур: VIII всеукр. наук. семінар, 09 – 10 жовтня, 2018 р., м. Харків: тези за матер. – Харків: ХНУБА, 2018. –С.42 – 44. (Особистий внесок здобувача: розроблені залежності для отримання числового значення константи флоатаційного процесу для дрібнодисперсних часток забруднень, які обумовлюють каламутність води).

### АНОТАЦІЯ

Гайдучок О.Г. Підвищення ефективності роботи споруд з очистки маломутних кольорових вод. - 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.

В роботі отримані такі результати: визначені найбільш значущі фактори, які впливають на ефективність процесу; розроблена методика визначення та отримані числові значення константи флоатаційного процесу для часток забруднень, які обумовлюють мутність води; удосконалена математична модель флоатаційного процесу, яка враховує вплив затриманої бульбашками зависі на швидкість їх спливання, а також конструктивні та технологічні параметри роботи (діаметр бульбашок, розмір часток завислих речовин, швидкість потоку, висота робочої зони, концентрація повітря в воді); на основі чисельних досліджень обґрунтовано удосконалення конструкції флоатаційної камери зі змінним по висоті поперечним перетином для підвищення якості очистки; достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджена задовільною збіжністю з даними, отриманими на експериментальній установці.

Результати роботи впровадженні в розробках ВАТ «Харківський Водоканалпроект», ТОВ «НПП ПРОМІНВЕСТПРОЕКТ».

**Ключові слова:** питне водопостачання, очистка природних вод, мутність, кольоровість, дрібнодисперсні частки, завислі речовини, напірна флоатація.

### АННОТАЦИЯ

Гайдучок А.Г. Повышение эффективности работы сооружений очистки маломутных цветных вод. - 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.

Диссертационная работа посвящена повышению эффективности работы сооружений по очистке маломутных цветных вод поверхностных

источников для питьевого водоснабжения за счет внедрения усовершенствованной конструкции напорного флотатора.

В результате теоретических исследований установлены основные факторы, влияющие на эффективность процесса напорной флотации, определена их значимость и установлена связь между ними при обработке природных вод, содержащих мелкодисперсную взвесь. Оценено численное значение константы флотационного процесса.

Усовершенствована математическая модель флотационного процесса, учитывающая влияние задержанной пузырьками взвеси на скорость их всплытия, а также конструктивные и технологические параметры работы (диаметр пузырьков, размер частиц взвешенных веществ, скорость потока, высота рабочей зоны, концентрация воздуха в воде);

На основании расчетов, выполненных с помощью усовершенствованной математической модели предложена и научно обоснована новая конструкция флотационной камеры, позволяющая интенсифицировать процесс очистки воды от мелкодисперсной взвеси. Предложено устройство с изменяющимся по высоте поперечным сечением. Получены результаты численных экспериментов по оценке влияния на качество очистки таких конструктивных и технологических параметров флотации: размер частиц загрязнений и пузырьков воздуха, концентрация воздуха в воде, скорость восходящего потока, высота рабочей зоны флотационной камеры.

На экспериментальной лабораторной установке проведены исследования для проверки адекватности разработанной модели. Полученные экспериментальные результаты совпадают с расчетными, что позволяет считать модель адекватной, а результаты достоверными.

Разработаны рекомендации по проектированию и расчету напорных флотаторов усовершенствованной конструкции, применяемых для очистки маломутных цветных вод. Рекомендации позволяют выбрать оптимальный режим работы и рассчитать основные технологические параметры устройства. Выполнено технико-экономическое сравнение флотатора традиционной и усовершенствованной конструкции, годовой экономический эффект составляет 351 тыс. грн для установки производительностью 500 м<sup>3</sup>/ч. Результаты работы внедрены в разработках ОАО «Харьковский Водоканалпроект», ООО «НПП ПРОМИНВЕСТПРОЕКТ».

**Ключевые слова:** питьевое водоснабжение, очистка природных вод, мутность, цветность, мелкодисперсные частицы, взвешенные вещества, напорная флотация.

## ABSTRACT

**Haiduchok O.G.** Improvement of the efficiency of the facilities for the treatment lowturbidity colored water. – Qualifying scientific work as a manuscript.

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

The main results of this research work are: the most significant factors that influence the efficiency of dissolved air flotation process are identified; the method of determination has been developed and the numerical values of the flotation process constant for the solid particles which contain in surface water are obtained; mathematical model of the flotation process, which includes the design and technological parameters of work (bubble diameter, size of solid particle, flow velocity, height of working area, air concentration in water) has been developed and modified; on the basis of numerical studies the improvement of the structure of a flotation tank with variable in height section was substantiated to improve the quality of cleaning; the reliability of the results of theoretical studies is confirmed by satisfactory convergence with the data obtained at the experimental installation.

The results of the research are used in solution for surface water treatment in companies as «Kharkiv Vodokanalproekt» PLC and «PROMINVESTPROEKT» LLC.

**Keywords:** portable water supply, purification of raw waters, turbidity, color, finely dispersed. solid particles, dissolved air flotation.