

С.М. Епоян¹, Т.С. Айрапетян¹, О.Г. Гайдучок¹, Г.І. Благодарна¹, В.М. Волков²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

²Комунальне підприємство «Харківводоканал», Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ КАМЕРИ УТВОРЕННЯ ПЛАСТІВЦІВ ДЛЯ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

У роботі проведені дослідження роботи коловоротно-вихрової камери утворення пластівців нової конструкції. Виконано гідравлічне моделювання за критерієм Рейнольдса і Фруда. Встановлено, що роботу камери утворення пластівців доцільно моделювати за критерієм Фруда. Моделювання за критерієм Рейнольдса призводить до великих градієнтів швидкості і показує, що за таких умов процес утворення пластівців неможливий.

Ключові слова: водопідготовка, інтенсифікація, камера утворення пластівців, питне водопостачання.

Постановка проблеми

Поверхневі водні джерела України мають незадовільний стан у зв'язку із забрудненнями, спричиненими промисловою та сільськогосподарською діяльністю, а також російським вторгненням [1–3]. Ці фактори серйозно впливають на якість води, що призводить до потрапляння різних шкідливих хімічних та біологічних забруднень у систему водопостачання [4]. З погіршенням якості природної води знижується ефективність роботи очисної станції при підготовці питної води для потреб населення.

Згідно з дослідженням [5], погіршення якості поверхневих вод через військові дії вимагає негайних заходів для їх очищення, щоб забезпечити населення безпечною водою. У цьому контексті велике значення має розробка нових методів та споруд для очищення води або інтенсифікація наявних для ефективного видалення забруднення та отримання води, безпечної для господарських та питних потреб населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Камери пластівцеутворення станції реагентного освітлення та знебарвлення води призначені для перебігу фізико-хімічних процесів, що обумовлюють утворення великих, міцних пластівців гідроксидів металів з домішками, які швидко осаджуються та вилучаються з води [3, 6–10].

До традиційних гідравлічних камер пластівцеутворення відносяться: вихрові, водоворотні, перегородчасті, з шаром завислого осаду.

До недоліків камер можна віднести [11–13]:

- великі розміри і площа споруди. Камери пластівцеутворення зазвичай займають значну площу, що може бути недоліком в умовах обмеженого простору;
- повільність процесу. Для осадження частинок потрібен час, і цей процес може бути досить повільним. Це може знизити загальну продуктивність системи;

– неоднорідність осадження. Частинки різного розміру і щільності можуть осаджуватися неоднорідно, що може впливати на якість очищення або розділення;

– технічне обслуговування. Камери пластівцеутворення потребують регулярного обслуговування, включно з очищенням від осадів, що накопичуються з часом. Це може бути трудомістким і потребувати додаткових витрат [9].

З метою підвищення ефективності роботи гідравлічних камер утворення пластівців (наприклад, вихрових, коловоротних, камер з шаром завислого осаду та ін.) пропонується вдосконалена конструкція коловоротно-вихрової камери, яка описана та досліджена нижче.

Мета статті

Метою цієї роботи є розробка методики та експериментальне дослідження нової конструкції камери утворення пластівців коловоротно-вихрового типу для інтенсифікації процесу очищення води в системі господарсько-питного водопостачання.

Виклад основного матеріалу

Для інтенсифікації процесів утворення пластівців при очищенні природних вод була запропонована нова конструкція камери коловоротно-вихрового типу (рис. 1), яка виконана прямокутною формою в плані з розмірами 0,75×2,0 м і висотою 0,65 м.

Для дослідження ефективності роботи запропонованої камери була побудована експериментальна установка в масштабі 1:8. Вона складається з 2-х робочих секцій розмірами 0,75×0,5 м кожна і збірної секції розміром 0,75×1,0 м, а також переливної секції розміром 0,75×1,0 м, двох робочих секцій. Кожна секція відокремлена одна від одної водонепроникною перегородкою, висота яких відрізняється між собою з урахуванням збільшення витрати другої секції камери утворення пластівців. Для розподілу потоку

води в камері утворення пластівців прокладені дві труби $d = 50$ мм, на яких встановлені штуцери $d = 20$ мм з соплами-насадками. У першій секції встановлено 4 штуцери з соплами-насадками по 2 шт. на кожній трубі, а в другій – 6 штуцерів з соплами-насадками по 3 шт. на кожній трубі. Діаметр сопел-насадок приймаємо 6 мм, 8 мм, 10 мм. Для регулювання витрати на кожній трубі встановлені запірно-регулювальні пристрої. Для визначення витрати по кожній трубі передбачені відтаровані п'єзометри. Для візуального спостереження за процесами, що відбуваються в камері утворення пластівців, передбачені вікна з оргскла розміром $0,11 \times 0,6$ м. Відве-

дення води зі збірної секції проводиться двома трубопроводами $d = 50$ мм у мірний резервуар. Відбір проб води з робочих секцій камери утворення пластівців проводиться сифонами з 3-х точок на глибині 20 см від поверхні води з кожної робочої камери:

- перша точка – 15 см від бічної стінки кожної робочої секції камери;
- друга – посередині зон сходження потоків;
- третя – посередині кожної робочої секції камери утворення пластівців.

Подача замутнювачів відбувалась в резервуар вихідної води. Загальна технологічна схема лабораторної установки представлена на рис. 2.

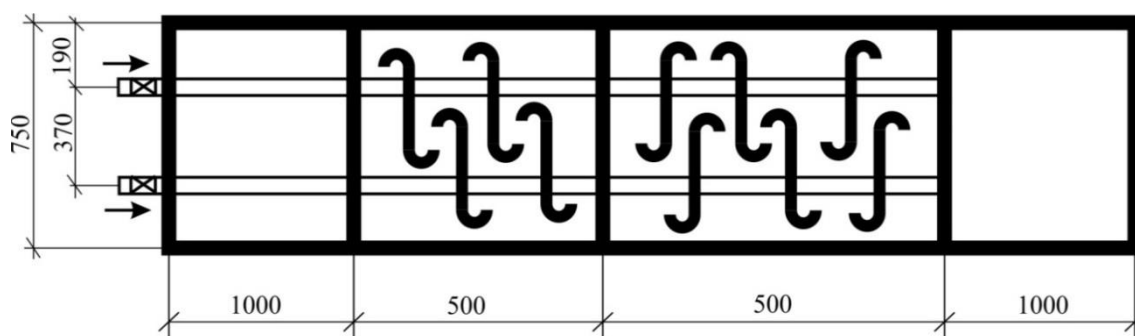


Рис. 1. Модель коловоротно-вихрової камери утворення пластівців

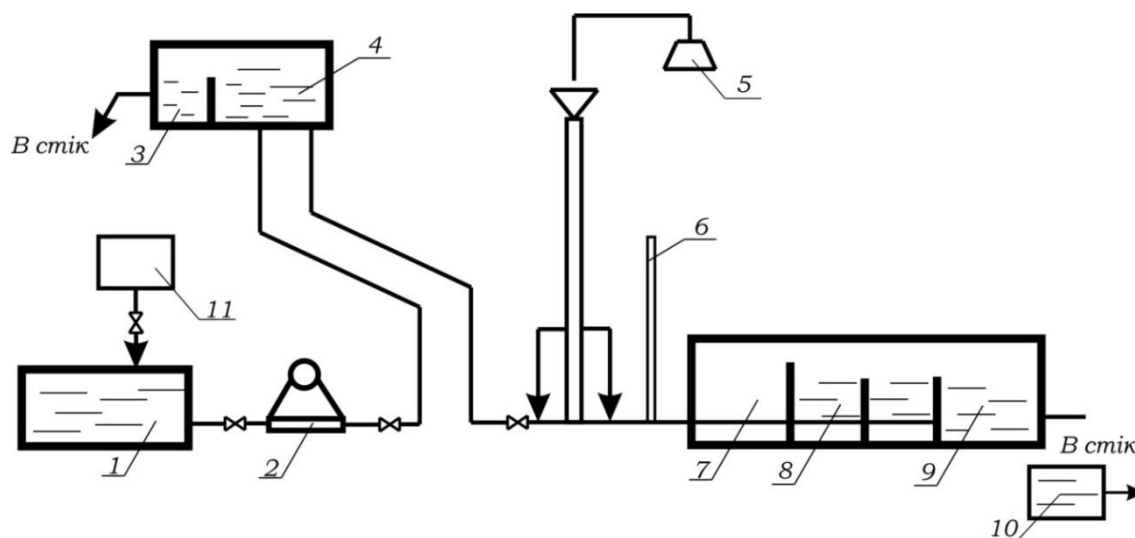


Рис. 2. Загальна технологічна схема лабораторної установки: 1 – резервуар вихідної води; 2 – насос; 3 – переливна секція; 4 – резервуар з постійним рівнем води; 5 – посуд Бойля–Маріотта для подачі розчину коагулянту; 6 – п'єзометри; 7 – переливна секція; 8 – камера утворення пластівців; 9 – збірна секція; 10 – мірний резервуар; 11 – бак із замутнювачем

Експериментальна установка працювала наступним чином: резервуар чистої води 1 (рис. 2) заповнювався чистою водопровідною водою і насосом 2 вона подавалась в резервуар з постійним рівнем води 4, надлишок води переливався через кромку перегородки переливної секції 3 і відводився в каналізаційну систему. Замутнювач надходив в резервуар вихідної води 1 з бака приготування замутнювачів 11. Вода,

змішана із замутнювачем, з резервуара з постійним рівнем води 4 надходила з двох трубопроводів $d = 50$ мм в камеру утворення пластівців 8 в першу і другу секції одночасно. Пройшовши штуцери з соплами-насадками, вода переливалася в збірну секцію 9 камери утворення пластівців 8 і звідти надходила в мірний резервуар 10 і далі в стік. Коагулянт вводився в оброблювану воду з посудини

Бойля–Маріотта за двома варіантами: безпосередньо за резервуаром з постійним рівнем 4 або безпосередньо перед камерою утворення пластівців 8.

Для дослідження роботи коловоротно-вихрової камери утворення пластівців було виконано гідравлічне моделювання за критерієм Рейнольдса (Re) і за критерієм Фруда (Fr), тому що важко запропонувати, яким силам віддати перевагу – силі внутрішнього тертя або силам тяжіння [14, 15]. Геометричні розміри моделі однакові при моделюванні за критеріями Re і Fr , різниця лише в швидкостях виходу води з сопел-насадок, а отже, і у витратах води, яка подається в камеру утворення пластівців.

При дослідженні роботи коловоротно-вихрової камери утворення пластівців були проведені досліди, дані яких дозволили:

- вивчити вплив кутів нахилу сопел-насадок на коефіцієнт об'ємного використання робочих секцій камери утворення пластівців при різних градієнтах швидкості;

- отримати якісну оцінку роботи камери утворення пластівців шляхом вивчення осадження пластівців в робочих секціях камери при різних градієнтах швидкості і кутах нахилу сопел-насадок.

Концентрація завислих речовин у воді визначалася фотоелектроколориметром і ваговим способом, точність вимірювань – до 5 %. Витрата води, що надходить в камеру утворення пластівців, регулювалася запірною арматурою за п'єзометром і визначалася об'ємним способом. Коефіцієнт об'ємного використання робочих секцій камери визначався індикаторним методом (сольовим) шляхом введення розчину кухонної солі у воду, що надходить в камеру утворення пластівців. Розчин марганцю застосовувався для візуального спостереження за гідравлікою руху потоків води.

Якісна оцінка роботи камери утворення пластівців проводилася шляхом вивчення осадження пластівців в робочих секціях камери при повній зупинці роботи камери та взяття проб в точках кожної секції камери з постійною глибиною через 40 с.

Досліди проводилися зі штучно замутною водою. Як замутнювач використовували біло-блакитну глину. Седиментаційний аналіз біло-блакитної та біло-зеленої глини, наведений в табл. 1, показав, що біло-блакитна глина містить більшу кількість дрібних частинок, ніж біло-зелена, тому вона і була прийнята як замутнювач.

Таблиця 1

Седиментаційний аналіз глини

Інтервали розмірів окремих фракцій у метрах	Відсотковий вміст фракцій	
	біло-блакитна глина	біло-зелена глина
$1 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-5}$	5,6	5,2
$5 \times 10^{-5} \div 1 \times 10^{-5}$	45,7	43
$1 \times 10^{-5} \div 5 \times 10^{-6}$	15,4	40,6
$< 5 \times 10^{-5}$	33,3	11,2
Густина, кг/м^3	2680	2660

Дослідження роботи експериментальної установки охоплювали всі характерні періоди року: літній, осінній, зимовий, весняний. У періоди проведення дослідів фізико-хімічні показники якості води були наступними:

- температура – 7–17 °С;
- рН – 7,2–7,5;
- лужність – 4,1–4,7 мг-екв/л;
- окиснюваність – 3,6–4 мг O_2 /л;
- загальна жорсткість – 4,8–5,6 мг-екв/л;
- хлориди – 20–35 мг/л.

Для приготування замутнювачів глину подрібнювали, заливали водою і залишали в ємності на п'ять діб. Це робилося з метою збереження первісної характеристики суспензії протягом всіх дослідів, оскільки в умовах слаболужної водопровідної води (рН = 7,2–7,5) відбувається набухання і зміна розмірів частинок суспензії. Потім суспензію збовтували, протягом 120–180 с відстоювали, щоб великі глинисті частинки випали в осад. Після цього вода з неосілої концентрованої суспензії відбиралася сифоном в бак

з мішалкою, де вона підтримувалася в підвішеному стані протягом всього дослідів.

Доза реагентів (сірчаноокислого алюмінію) визначалася пробним методом в циліндрах відповідно до ДБН В.2.5-74:2013. Витрата реагентів визначалася об'ємним способом. Аналогічно дозувався замутнювач.

Градієнт швидкості в кожній секції камери визначався із залежності:

$$G = \left(\frac{Q \cdot V^2 \cdot \rho}{2 \cdot W \cdot \mu} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

де Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$;

V – швидкість виходу води з сопел-насадок, м/с ;

ρ – густина води, кг/м^3 ;

W – об'єм камери, м^3 ;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Коефіцієнт об'ємного використання споруди визначався ставленням фактичного часу перебування

води в споруді до розрахункового. Фактичний час перебування води встановлювався сольовим методом.

При вивченні роботи коловоротно-вихрової камери утворення пластівців змінювалася витрата води, що подається в камеру, від 0,5 до 25 л/с, змінювалися кути нахилу сопел-насадок. Каламутність вихідної води варіювалася від 0,1 до 1,5 кг/м³. Через вікна, розташовані в камері утворення пластівців, проводилися візуальні спостереження за процесами утворення пластівців і гідравлічними процесами.

Для досягнення поставленої мети були проведені досліди, що складаються з 2 серій, які дозволили вирішити поставлені завдання.

Перша серія дослідів дала змогу визначити вплив кутів нахилу сопел-насадок на коефіцієнт об'ємного використання робочих секцій камери утворення пластівців при різних градієнтах швидкості, а також вибрати критерій моделювання для моделі, на якій проводяться дослідження. Дані цих дослідів наведені в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Коефіцієнт об'ємного використання коловоротно-вихрової камери утворення пластівців

Загальне питоме гідравлічне навантаження, $Q_{пит}^{заг}, м^3/(м^2 \cdot год)$		Діаметр сопел (мм) першої секції (8 шт.)						Діаметр сопел (мм) другої секції (12 шт.)					
		6		8		10		6		8		10	
Fr	Re	Fr	Re	Fr	Re	Fr	Re	Fr	Re	Fr	Re	Fr	Re
Кут нахилу 0°													
2	46	0,48	0,72	0,51	0,74	0,52	0,77	0,51	0,75	0,55	0,76	0,56	0,79
4	92	0,63	0,8	0,71	0,84	0,74	0,86	0,65	0,81	0,74	0,87	0,77	0,89
6	–	0,79	–	0,79	–	0,82	–	0,8	–	0,81	–	0,83	–
Кут нахилу 20°													
2	46	0,52	0,74	0,55	0,77	0,58	0,8	0,55	0,77	0,56	0,78	0,6	0,82
4	92	0,75	0,83	0,77	0,88	0,81	0,89	0,79	0,85	0,79	0,89	0,84	0,92
6	–	0,79	–	0,81	–	0,84	–	0,82	–	0,84	–	0,88	–
Кут нахилу 45°													
2	46	0,55	0,81	0,58	0,81	0,65	0,85	0,58	0,87	0,62	0,89	0,67	0,87
4	92	0,82	0,91	0,87	0,91	0,89	0,93	0,84	0,93	0,89	0,94	0,91	0,94
6	–	0,85	–	0,89	–	0,92	–	0,87	–	0,91	–	0,93	–

Таблиця 3

Значення констант ефективності коагуляції секцій коловоротно-вихрової камери утворення пластівців при різних питомих гідравлічних навантаженнях ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Загальне питоме гідравлічне навантаження, $Q_{пит}^{заг}, м^3/(м^2 \cdot год)$		Діаметр сопел, мм	Константа та параметри першої секції камери			Величина висхідної швидкості першої секції камери, мм/с		Константа та параметри другої секції камери			Величина висхідної швидкості другої секції камери, мм/с	
			Fr	Re	G, c ⁻¹	Fr	Re	Fr	Re	G, c ⁻¹	Fr	Re
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,0	46,0	6	G, c ⁻¹	17,2	1906,2	0,44	10,2	G, c ⁻¹	21,3	2337,7	0,67	15,1
			T, c	909	39			T, c	597	26		
			G·T	15634,8	74341,8			G·T	12716,1	60780,2		
			G, c ⁻¹	9,6	1065,9			G, c ⁻¹	11,9	1313,2		
			T, c	909	39			T, c	597	26		
			G·T	8726,4	41570,1			G·T	7104,3	34143,2		
		10	G, c ⁻¹	6,2	684,4			G, c ⁻¹	7,6	839,4		
			T, c	909	39			T, c	597	26		
			G·T	5635,8	26691,6			G·T	4556,3	2183,8		

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4,0	92,0	6	G, c ⁻¹	49,0	5393	0,89	20,4	G, c ⁻¹	59,7	6616,4	1,33	30,7
			T, c	449	19,6			T, c	300,8	13		
			G·T	22001				G·T	17957,8	86013,2		
		8	G, c ⁻¹	27,5	3029,5			G, c ⁻¹	33,6	3716,8		
			T, c	449	19,6			T, c	300,8	13		
			G·T	12347,5				G·T	10106,9	48318,4		
		10	G, c ⁻¹	17,6	1937,4			G, c ⁻¹	21,5	2376,8		
			T, c	449	19,6			T, c	300,8	13		
			G·T	7902,4				G·T	6467,2	30898,4		
6	-	6	G, c ⁻¹	89,8	-	1,33	-	G, c ⁻¹	110,2		2,0	-
			T, c	300,8	-			T, c	200			
			G·T	27011,8	-			G·T	22040			
		8	G, c ⁻¹	50,4	-			G, c ⁻¹	61,9			
			T, c	300,8	-			T, c	200			
			G·T	15160,3	-			G·T	12380			
		10	G, c ⁻¹	32,2	-			G, c ⁻¹	39,6			
			T, c	300,8	-			T, c	200			
			G·T	9685,5	-			G·T	7920			

З табл. 2 видно, що коефіцієнт об'ємного використання коловоротно-вихрової камери утворення пластівців зростає зі збільшенням питомого гідравлічного навантаження і зі збільшенням кута нахилу сопел-насадок до дна камери. Збільшення кута нахилу більше 45° недоцільно, бо буде відбуватися перехід від обертально-поступального руху в поступальний, що призведе до погіршення роботи камери утворення пластівців.

Порівнюючи дані табл. 2 і 3, бачимо, що градієнт швидкості не впливає на ступінь використання об'єму камери утворення пластівців, він показує тільки інтенсивність перемішування.

Аналізуючи дані табл. 3, можна зробити висновок

про те, що камери утворення пластівців доцільно моделювати за критерієм Фруда (Fr). Моделювання за критерієм Рейнольдса призводить до таких великих градієнтів швидкості, що говорити про будь-які процеси утворення пластівців просто немає сенсу.

Тому подальші дослідження коловоротно-вихрової камери утворення пластівців проводили при моделюванні за критерієм Фруда.

Друга серія дослідів проводилась з метою отримати якісну оцінку роботи коловоротно-вихрової камери утворення пластівців шляхом дослідження осадження пластівців при різних градієнтах швидкості та кутах нахилу сопел-насадок. Дані цих досліджень приведені в табл. 4.

Таблиця 4

Якісна оцінка роботи коловоротно-вихрової камери утворення пластівців ($M_{вих} = 0,200 \text{ кг/м}^3$)

Загальне питоме гідравлічне навантаження, $Q_{пит}^{заг}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	Перша секція камери				Друга секція камери			
	Градієнт швидкості при діаметрі сопел-насадок, мм			Каламутність відстояної води, кг/м^3	Градієнт швидкості при діаметрі сопел-насадок, мм			Каламутність відстояної води, кг/м^3
	2	3	4		6	8	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кут нахилу 0°								
2	17,2	9,6	6,2	0,135	21,3	11,9	7,6	0,138
				0,15				0,14
				0,158				0,151
4	49,0	27,5	17,6	0,11	59,7	33,6	21,5	0,099
				0,138				0,14
				0,16				0,15

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	89,8	50,4	32,2	0,12	110,2	61,9	39,6	0,12
				0,12				0,128
				0,16				0,140
Кут нахилу 20°								
2	17,2	9,6	6,2	0,135	21,3	11,9	7,6	0,133
				0,141				0,143
				0,154				0,149
4	49,0	27,5	17,6	0,105	59,7	33,6	21,5	0,095
				0,133				0,136
				0,155				0,144
6	89,8	50,4	32,2	0,114	110,2	61,9	39,6	0,115
				0,11				0,125
				0,15				0,137
Кут нахилу 45°								
2	17,2	9,6	6,2	0,13	21,3	11,9	7,6	0,13
				0,14				0,13
				0,15				0,145
4	49,0	27,5	17,6	0,095	59,7	33,6	21,5	0,09
				0,13				0,13
				0,15				0,14
6	89,8	50,4	32,2	0,11	110,2	61,9	39,6	0,11
				0,10				0,095
				0,14				0,13

З табл. 4 можна зробити висновок, що найкращий ефект освітлення води в камері утворення пластівців відбувається при куті нахилу сопел-насадок 45° до днища камери.

При цьому оптимальні значення градієнтів швидкості знаходяться в межах 49–90 с⁻¹, а час перебування води в коловоротно-вихровій камері утворення пластівців становить 200–450 с. Найкращий ефект освітлення води спостерігається при градієнті швидкості близько 60 с⁻¹ та часі перебування води в камері утворення пластівців 200–300 с.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Розроблено методику та досліджено вдосконалену конструкцію коловоротно-вихровій камері утворення пластівців. Завдяки влаштуванню у першій секції 4 штуцерів з соплами-насадками по 2 шт. на кожній трубі, а в другій секції – 6 штуцерів з соплами-насадками по 3 шт. на кожній трубі діаметром від 6–10 мм можна підвищити ефект освітлення води. Експериментально доведено моделювання камер утворення пластівців за критерієм Фруда. Аналітично доведено перевагу роботи коловоротно-вихрових камер утворення пластівців, як порівняти з іншими гідравлічними камерами, внаслідок спільної дії

гравітаційного і градієнтного факторів.

Наведені результати експериментальних досліджень коловоротно-вихровій камері утворення пластівців є продовженням попередніх досліджень із зазначеної тематики. Ці роботи присвячені підвищенню якості очищення поверхневих вод, що використовуються для питного водопостачання.

Література

1. Epoyan S. *Methods of combined horizontal settler research [Text]* / S. Epoyan, T. Airapetian, O. Haiduchok, G. Sukhorukov, O. Kravchuk // *Proceedings of the International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems.* - Springer, 2023. – Vol. 536. – P. 360–367.
2. Haiduchok O. *Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption [Text]* / O. Haiduchok, N. Kanunnikova, A. Sakun, R. Tomashevskiy, B. Vorobiov // *The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life: collective monograph.* – Boston: Primedia eLaunch, 2024. – P.230 – 252.
3. Tretyakov O. *Improving the environmental safety of drinking water supply in Kharkiv region [Text]* / O. Tretyakov, T. Shevchenko, V. Bezsonnyi // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* - 2015. - №5(10).- P. 40–49.
4. Епоян С. М. *Водопостачання та очистка природних вод: навчальний посібник [Текст]* / С. М. Епоян, В. Д. Колотило, О. Г. Друшляк та ін. – Харків: Фактор, 2010. – 192 с.

5. Stokal V. More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. [Text] / V. Stokal, A. Kurovska, M. Stokal // *Journal of Integrative Environmental Sciences* – 2023. - № 20(1). - №2281920.
6. Орлов В.О. Проектування станції прояснення та знебарвлення води [Текст] / В.О. Орлов, С.Ю. Мартинов, А.М. Зошук. – Рівне: НУВГП, 2007. – 252 с.
7. Тугай А.М. Водопостачання: Підручник [Текст] / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К.: Знання, 2009. – 735 с.
8. Moran S. *An applied guide to water and effluent treatment plant design*. 1st edn [Text] / S. Moran. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – 466 p.
9. Brandt J.M. *Twort's Water Supply*. 7th edn. [Text] / J.M. Brandt, K.M. Johnson, A.J. Elphinston, D.D. Ratnayaka. - Amsterdam: Elsevier, 2017. – 932 p.
10. Anggi Tasya Megawati Putri. *Selection of design criteria for the coagulation and flocculation unit in the cimanggis drinking water treatment plant* [Text] / Anggi Tasya Megawati Putri, Riana Ayu Kusumadewi, Winarni // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 1098. - №1098.
11. Василенко О.А. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: навчальний посібник [Текст] / О.А. Василенко, П.О. Грабовський, Г.М. Ларкіна, О.В. Поліщук, В.Й. Прогульний. – К.: ІВНВП «Укрґеліо-мех», 2010. – 272 с.
12. Kovrov O. *Improvement of the mine water purification efficiency via modified settling tank* [Text] / O. Kovrov, D. Kulikova // *Ecological Engineering and Environmental Technology*. – 2022. - № 23(1). – P. 65-75.
13. Charlesworth S. *Sustainable water engineering*. 1st edn [Text] / S. Charlesworth, C. Booth, K. Adeyeye. – Amsterdam: Elsevier, 2020 – 324 p.
14. Константинов Ю.М. *Інженерна гідравліка: Підручник для студентів вищих навчальних закладів* [Текст] / Ю.М. Константинов, О.О. Гіжа. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2006. – 432 с.
15. Науменко І.І. *Технічна механіка рідини і газу: Підручник для вищих навчальних закладів* [Текст] / І.І. Науменко. – Рівне: Видавництво РДТУ, 2000. – 528 с.

References

1. Eroyan S., Airapetian T., Haiduchok O., Sukhorukov G., Kravchuk O. (2023) Methods of combined horizontal settler research. *Proceedings of the International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 536. P. 360–367.
2. Haiduchok O., Kanunnikova N., Sakun A., Tomashevskiy R., Vorobiov B. (2024) Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption. *The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life: collective monograph*. P. 230–252.
3. Tretyakov O., Shevchenko, T., Bezsonnyi, V. (2015) Improving the environmental safety of drinking water supply in Kharkiv region *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. №5(10). P. 40–49.
4. Eroyan S. M., Kolotylo V.D., Drushliak O.H. and oth. (2010). *Vodopostachannia ta ochystka pryrodnykh vod: navchalnyi posibnyk*. Kharkiv: Faktor. 192 p.
5. Stokal V., Kurovska A., Stokal M. (2023) More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. - № 20(1). №2281920.
6. Orlov V.O., Martynov S.Iu., Zoshchuk A.M. (2007) *Proektuvannia stantsii proiasnennia ta znebarvlennia vody*. Rivne: NUVHP. 252 p.
7. Tuhai A.M., Orlov V.O. (2009) *Vodopostachannia:*

- Pidruchnyk*. K.: Znannia. 735.
8. Moran S. (2018) *An applied guide to water and effluent treatment plant design*. 1st edn. Amsterdam: Elsevier. 466 p.
9. Brandt J.M., Johnson K.M., Elphinston A.J., Ratnayaka D.D. (2017) *Twort's Water Supply*. 7th edn. Amsterdam: Elsevier, 932 p.
10. Anggi Tasya Megawati Putri, Riana Ayu Kusumadewi, Winarni (2022) *Selection of design criteria for the coagulation and flocculation unit in the cimanggis drinking water treatment plant*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1098. №1098.
11. Vasylenko O.A., Hrabovskiy P.O., Larkina H.M., Polishchuk O.V., Prohulnyi V.I. (2010) *Rekonstruktssiia i intensyfikatsiia sporud vodopostachannia ta vodovidvedennia: navchalnyi posibnyk*. K.: IVNVKP «Ukrheliotekh». 272.
12. Kovrov O., Kulikova D. (2022) *Improvement of the mine water purification efficiency via modified settling tank*. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. № 23(1). P. 65-75.
13. Charlesworth S., Booth C., Adeyeye K. (2020) *Sustainable water engineering*. 1st edn. Amsterdam: Elsevier. 324.
14. Konstantinov Yu.M., Hizha O.O. (2006) *Inzhenerna hidravlika: Pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv*. K.: Vydavnychi Dim «Slovo». 432.
15. Naumenko I.I. (2000) *Tekhnichna mekhanika ridyny i hazu: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv*. Rivne: Vydavnytstvo RDTU. 528.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедри інженерної екології міст В.О. Юрченко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ЕПОЯН Степан Михайлович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – stepan.epoian@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4551-1309>

Автор: АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – tamara.ayrapetyan@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-5622>

Автор: ГАЙДУЧОК Олександр Григорович
кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – oleksandr.haiduchok@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3139-9061>

Автор: БЛАГОДАРНА Галина Іванівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – galina.blagodarna@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-4737>

Автор: ВОЛКОВ Владлен Миколайович

кандидат технічних наук, заступник генерального
директора з експлуатації водопровідного господарства,
директор Комплексу «Харківводопостачання»
Комунальне підприємство «Харківводоканал»

E-mail – vkg.knuca@ukr.net

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8419-9878>

IMPROVEMENT OF OPERATION AND RESEARCH METHODOLOGY OF THE HYDRAULIC FLAKE FORMATION CHAMBER FOR DRINKING WATER SUPPLY

S. Epoian¹, T. Airapetian¹, O. Haiduchok¹, H. Blahodarna¹, V. Volkov²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²Municipal Enterprise “Kharkivvodokanal”, Ukraine

Ukraine’s surface water sources are unsatisfactory due to pollution caused by industrial and agricultural activities and the Russian invasion. As the natural water quality deteriorates, the treatment plant’s efficiency in preparing drinking water for the population’s needs decreases. The hydraulic flake formation chamber allows for physicochemical processes that produce large and solid flakes of metal hydroxides with impurities that quickly settle and are then removed from the water.

This study aims to develop a methodology for experimental research on the new design of a swirl-vortex flake formation chamber that intensifies the water purification process in the domestic and drinking water supply systems.

The proposed design of the swirl-vortex chamber has dimensions of 0.75×2.0 m and a height of 0.65 m. Due to the installation in the first section of 4 fittings with nozzles, two pieces on each pipe, and in the second section, six fittings with nozzles, three pieces on each pipe with a diameter of 6–10 mm, it is possible to increase the effect of water illumination. The authors performed hydraulic modelling following the Reynolds criterion (Re) and the Froude criterion (Fr). We conducted experiments using artificial turbidity water. White-blue clay was used as a turbidant because it contains more small particles than the white-green one. We decided to model flake formation chambers according to the Froude criterion (Fr). Modelling according to the Reynolds criterion leads to such large velocity gradients that it simply does not make sense to talk about flake formation processes. We carried out the second series of experiments to obtain a qualitative assessment of the swirl-vortex chamber’s work in forming flakes by studying the deposition of flakes at different velocity gradients and angles of inclination of the nozzles. The best effect of lightening the water in the flake formation chamber occurs at a nozzle inclination angle of 45° to the bottom. The best effect of water clarification happens at a velocity gradient of about 60 s⁻¹ and the water residence time in the flake formation chamber of 200–300 s.

Keywords: water treatment, intensification, flake formation chamber, drinking water supply.