

- Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. - №70. – С. 226-231.
11. Балера Н.Д., Иванов А.Н., Сорокотяга А.С. Помол в шаровых и валковых мельницах / Науковий вісник будівництва №70.
 12. Иванов А.Н., Сиромолот С.В. Использование поверхностно-активных веществ для интенсификации помола в трубных мельницах / Науковий вісник будівництва. Харків, ХНУБА ХОТВ АБУ, вип. 1(75), 2014. – С. 65-68.
 13. Иванов А.Н., Шовкун М.Н. Интенсификация работы шаров в трубных мельницах. Науковий Вісник будівництва №1(79). Харків: 2015. – С. 193-197.
 14. Иванов А.Н. Моделирование результатов опытов, проведения на шаровых мельницах периодического и непрерывного действия. / Науковий Вісник будівництва, №3(81). Харків: 2015. – С. 179-184.
 15. Балера М.Д. Обладнання комплексів для виробництва цементу: Навчально-методичний посібник. Видання друге, перероблене і доповнене. – Х.: ХНУБА. 2016. – 143 с.

Иванов А.Н., Балера Н.Д. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТОВ. Обоснована целесообразность повышения продольной скорости материала и пути ее реализации, а также место возврата крупки после сепаратора в трубную мельницу. Повышена эффективность процесса сепарации за счет ввода поверхностно-активного вещества непосредственно в сепарационную камеру сепаратора.

Ключевые слова: цемент, помол, трубный мельница, замкнутый цикл, сепаратор, вдув крупки.

Ivanov A.N., Balera N.D. WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF IMPROVING THE QUALITY OF CEMENTS. The expediency of increasing the longitudinal velocity of the material and the way of its realization, as well as the place of return of the grains after the separator to the pipe mill, is substantiated. The efficiency of the separation process is enhanced by introducing a surfactant directly into the separator separation chamber.

Keywords: cement, grinding, pipe mill, closed cycle, separator, injection of grains

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-181-187
УДК 628.16

Епоян С.М.¹, Яркін В.А.², Сухоруков Г.І.¹, Сізова Н.Д.¹

¹ Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: ykg.knuca@ukr.net; orcid.org/0000-0003-4551-1309;
orcid.org/0000-0002-1740-3098; orcid.org/0000-0002-0103-1939)

² Комунальне підприємство «Харківводоканал»
(вул. Шевченко, 2, м. Харків, 61013, Україна; e-mail: ya_vad@i.ua, orcid.org/0000-0001-7844-6772)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОСАДЖЕННЯ ЗАВИСІ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗМІШУВАЧА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПИТНОЇ ВОДИ

Розглянуті питання підвищення ефективності осадження зависі за рахунок використання перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції при підготовці питної води. Наведено методику проведення експериментальних досліджень. Приведені результати досліджень з визначення підвищення ефективності осадження зависі. Отримана математична модель процесу осадження зависі після змішувача удосконаленої конструкції. Показана доцільність використання змішувача удосконаленої конструкції при підготовці питної води.

Ключові слова: перегородчастий змішувач коридорного типу удосконаленої конструкції, методика, підвищення ефективності осадження зависі, математична модель, щільна перегородка.

Вступ. Проблема забезпечення населення чистою питною водою дуже актуальна. В Україні для очищення природної води для питного водопостачання широке **НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 95, №1, 2019**

розповсюдження знайшли реагентні технологічні схеми, що базуються на застосуванні коагулювання води сірнокислим алюмінієм з подальшим відстоюванням або

освітленням у шарі завислого осаду, швидкого фільтрування або контактного освітлення та знезараження води хлором [1-7].

Процес змішування води з реагентом (коагулянт) визначає подальші стадії утворення пластівців гідролізованих форм коагулянта: відстоювання та фільтрування. Гідродинамічний режим змішування реагента з водою визначає кінетику утворення пластівців, їх розмір та швидкість [8-12].

В нашій країні найбільш розповсюджені гідравлічні змішувачі, до яких відносяться і перегородчасті змішувачі коридорного типу, які використовуються на великих водоочисних станціях. Від ефективності цих споруд залежать і наступні ступені очищення природних вод для господарсько-питного водопостачання [13-16].

Для підвищення ефективності роботи очисних споруд водопостачання при підготовці питної води був розроблений перегородчастий змішувач коридорного типу удосконаленої конструкції в якому застосовані щілинні перегородки, перед якими улаштовані розосереджені системи подачі реагентів [17, 18].

Мета. Мета роботи – визначення ефективності роботи перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції на процес осадження зависі.

Основна частина. Досліди проводили при рівних умовах роботи змішувача удосконаленої конструкції та звичайного змішувача. Щілинну перегородку встановлювали в змішувачі удосконаленої конструкції на початку першого коридору, яку потім знімали та проводили досліди для звичайного змішувача або встановлювали іншу перегородку. В якості замутнювача служив мул річки Сіверський Донець. Досліджували три перегородки. Швидкість руху води в щілинах перегородок становила: 0,9, 1,0, 1,1 м/с. Для кожної перегородки проведено по 5 серій дослідів.

Каламутність води визначали за відомими методиками на підставі технологічного моделювання процесу осадження [19 - 21]. Основою методики моделювання є подібність кривих випадіння зависі, які отримані при різних висотах шару води:

$$\frac{t_n}{t_m} = \frac{h_n}{h_m} \quad (1)$$

де t_m і t_n – відповідно час осадження зависі, при моделюванні та в натурі, год; h_m і h_n – відповідна висота шару води при моделюванні та в натурі, мм.

Ця подібність є точною при осадженні стійкої зернистої зависі та приближеним при осадженні нестійкої коагульованої зависі. Завдяки подібності кривих випадіння зависі виявляється можливим моделювати цей процес у циліндрах з невеликою висотою стовпа води. При цьому час, протягом якого досягається певний ефект осадження зависі, значно зменшується в порівнянні з часом її осадження у відстійниках. Це дозволяє скоротити час експериментальних досліджень і порівняно швидко визначити необхідні параметри для розрахунку відстійників.

В разі коагуляції зависі, що агломерується в процесі осадження, співвідношення (1) може не зберігатися. Як показали дослідження, криві осадження такої зависі при різних висотах осадження також можуть бути розглянуті, як подібні, якщо умови подібності виражені співвідношенням:

$$\frac{t_n}{t_m} = \left(\frac{h_n}{h_m}\right)^n \quad (2)$$

Показник ступеня $n < 1$ відображає вплив агломерації пластівців у процесі осадження. Його величину рекомендується приймати в залежності від ступеня агломерації часток до осадження в межах 0,2 – 0,5. Для крупних, сформованих пластівців $n = 0,5$.

Проби води відбирали на виході потоку зі змішувача в циліндри і проводили повільне перемішування. Потім циліндри з водою залишали в стані спокою на 20 хвилин для відстоювання пластівців, що утворювалися при коагулюванні. Протягом

цього часу контролювали процес освітлення води, який може спостерігатися у відстійнику. Осадження протягом 10-30 хвилин в шарі води близько 10 сантиметрів найбільшою мірою відповідає умовам освітлення води в виробничих відстійниках глибиною 3-4 метри за 2-3 години.

Піпеткою на висоті 8-10 сантиметрів від рівня води в циліндрі відбирали проби. Потім наливали в конічні колби і збовтували до повного руйнування пластівців. За допомогою фотоелектроколориметру визначали ступінь освітлення води шляхом вимірювання оптичної щільності. Частину проб дослідів перевіряли ваговим методом.

Розбіжність значень даних, отриманих фотоелектроколориметричним і ваговим методами не повинна складати більше 5%.

Проби зі зруйнованими пластівцями мають оптичну щільність пропорційну ваговій концентрації зважених речовин [19].

Таким чином, відповідно до розробленої методики проведено експериментальні дослідження щодо підвищення ефективності змішування природної води з реагентами.

Для визначення ефективності роботи перегородчастого змішувача удосконаленої конструкції пропонується залежність:

$$C_{ц} = \left(1 - \frac{M_{ц}}{M_c}\right) \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $C_{ц}$ - підвищення ефективності процесу осадження зависі, %; $M_{ц}$ - каламутність освітленої води після перегородчастого змішувача удосконаленої конструкції, НОК; M_c - каламутність освітленої води після звичайного перегородчастого змішувача, НОК;

Результати проведених експериментів та визначення підвищення ефективності процесу осадження зависі після перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції наведені в табл. 1.

У результаті проведених досліджень встановлено, що ефективність роботи змішувача удосконаленої конструкції вище ніж звичайного перегородчастого змішу-

вача коридорного типу на 13 - 24%. Це можна пояснити тим, що флокули, які утворюються в змішувачі удосконаленої конструкції, більш щільні, що у свою чергу підвищить осадження зависі у відстійниках і збільшить фільтроцикл швидких фільтрів [22].

Виходячи з розгляду наведеної залежності (3) бачимо, що підвищення ефективності процесу осадження зависі залежить від відношення $\frac{M_{ц}}{M_c}$, а у свою чергу це відношення залежить від умов змішування та якості вихідної води.

Використовуючи регресійний аналіз та прийняв відношення $\frac{M_{ц}}{M_c}$ як коефіцієнт осадження K_o , вибираємо функцію, яка апроксимує залежність зміни коефіцієнту осадження від умов змішування та якості вихідної води у вигляді:

$$K_o = K(V, M, T), \quad (4)$$

де V – швидкість руху води в щілинах перегородки змішувача, м/с; M – мутність (каламутність) вихідної води, НОК; T – температура води, °С; K_o – коефіцієнт осадження.

Приймаємо модель регресії многочленом 2-го ступеня [23,24]. Тоді модель регресії має вигляд:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_1^2 + B_5 X_2^2 + B_6 X_3^2 \quad (5)$$

$$x_1 = \bar{V} = \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

де $V_{\min} = 0,9$ м/с – мінімальне значення швидкості; $V_{\max} = 1,1$ м/с – максимальне значення швидкості;

$$x_2 = \bar{M} = \frac{M - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}}$$

де $M_{\min} = 86$ НОК – мінімальне значення мутності; $M_{\max} = 240,8$ НОК – максимальне значення мутності;

$$x_3 = \bar{T} = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

де $T_{\min} = 7^\circ\text{C}$ – мінімальне значення температури; $T_{\max} = 17^\circ\text{C}$ – максимальне значення температури;

Оцінку адекватності обраної моделі регресії робили відповідно до правил регресійного аналізу.

Таблиця 1 - Підвищення ефективності процесу осадження зависі після перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції

№ п/п	Мутність вихідної води, (НОК)	Температура води, °С	Швидкість руху води в щілинах, перегородках, м/с	Мутність освітленої води (НОК)		Підвищення ефективності, $C_{ц}, \%$
				$M_{ц}$	M_c	
1	171,0	17	0,9	13,6	17,2	21
2	86,0	17	0,9	13,7	17,0	19
3	223,6	15	0,9	14,6	18,6	21
4	240,8	12	0,9	16,8	20,6	18
5	103,2	10	0,9	22,5	25,8	13
6	137,6	7	0,9	24,0	27,5	13
7	171,0	17	1,0	13,0	17,2	24
8	86,0	17	1,0	13,1	17,0	23
9	223,6	15	1,0	14,3	18,6	23
10	240,8	12	1,0	16,2	20,6	21
11	103,2	10	1,0	21,8	25,8	16
12	137,6	7	1,0	23,3	27,5	15
13	171,0	17	1,1	13,5	17,2	22
14	86,0	17	1,1	13,5	17,0	21
15	223,6	15	1,1	14,8	18,6	21
16	240,8	12	1,1	16,5	20,6	20
17	103,2	10	1,1	24,4	25,8	14
18	137,6	7	1,1	22,8	24,0	13

Оцінку адекватності обраної моделі регресії робили відповідно до правил регресійного аналізу.

При проведенні регресійного аналізу використовували експериментальні дані технологічного моделювання при визначенні підвищення ефективності процесу осадження зависі після змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції. На підставі обробки 18 експериментальних даних були отримані результати розрахунків, які наведені в табл. 2.

Близький до одиниці коефіцієнт кореляції $R = 0,945$ та детермінації $R^2 = 0,894$, велике розрахункове значення $F = 15,454$ статистики Фішера та дуже мале значення

значущості $F = 8,8E-05$, свідчать про високу адекватність моделі регресії.

Шукану залежність можливо виразити поліномом:

$$K_0 = 0,896 - 0,122 \cdot \bar{V} + 0,0116 \cdot \bar{M} - 0,0506 \cdot \bar{T} + 0,137 \cdot \bar{V}^2 - 0,0610 \cdot \bar{M}^2 - 0,0521 \cdot \bar{T}^2 \quad (6)$$

Таким чином, на підставі проведених досліджень отримана модель процесу осадження зависі після перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції. З метою порівняння значень розрахункового та дослідного коефіцієнтів осадження в залежності від температури був побудований графік, який наведений на рис. 1 при швидкості руху в щілинній перегородці 1 м/с.

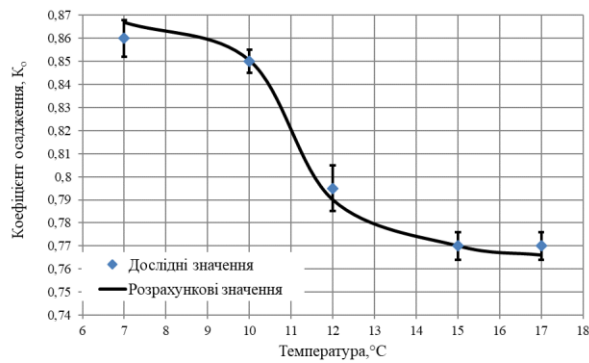


Рис. 1. Розрахункові та дослідні значення коефіцієнтів осадження в залежності від температури при $V=1$ м/с

Для порівняння значень розрахункового та дослідного підвищення ефективності осадження в залежності від температури був побудований графік, який наведений на

рис. 2 при швидкості руху в щілинній перегородці 1 м/с.

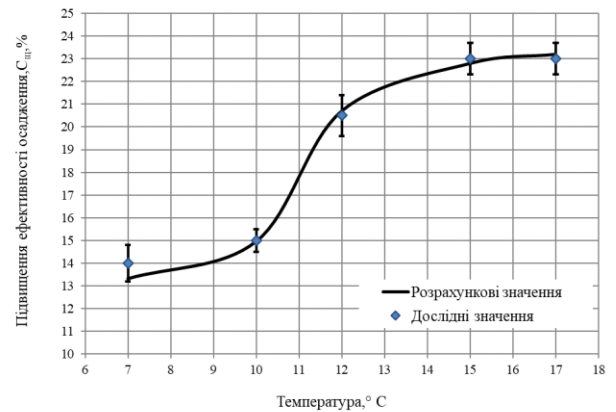


Рис. 2. Розрахункові та дослідні значення підвищення ефективності осадження в залежності від температури при $V=1$ м/с

Таблиця 2. - Результати проведення регресійного аналізу на підставі обробки 18 експериментальних точок

ВИСНОВОК ПІДСУМКІВ								
Регресійна статистика								
Множинний R	0,945							
R-квадрат	0,894							
Нормований	0,836							
Стандартна	0,021							
Спостереження	18,000							
Дисперсійний								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значи-</i>			
Регресія	6	0,0417	0,0070	15,454	8,8E-05			
Остаток	11	0,0050	0,0005					
Разом	17	0,0467						
	<i>Коефіцієнти</i>	<i>Стандар-</i> <i>тна поми-</i> <i>тка</i>	<i>t-статис-</i> <i>тика</i>	<i>P-Зна-</i> <i>чення</i>	<i>Нижні</i> <i>95%</i>	<i>Верхні</i> <i>95%</i>	<i>Нижні</i> <i>95,0%</i>	<i>Верхні</i> <i>95,0%</i>
Y-пересічення	0,8965	0,0206	43,5249	0,0000	0,8512	0,9419	0,8512	0,9419
Мінлива X 1	-0,1217	0,0442	-2,7547	0,0187	-0,2189	-0,0245	-0,2189	-0,0245
Мінлива X 2	0,0116	0,0676	0,1713	0,8671	-0,1372	0,1603	-0,1372	0,1603
Мінлива X 3	-0,0506	0,0884	-0,5718	0,5790	-0,2452	0,1441	-0,2452	0,1441
Мінлива X 4	0,1367	0,0424	3,2206	0,0082	0,0433	0,2301	0,0433	0,2301
Мінлива X 5	-0,0610	0,0729	-0,8363	0,4208	-0,2215	0,0995	-0,2215	0,0995
Мінлива X 6	-0,0521	0,0784	-0,6647	0,5199	-0,2248	0,1205	-0,2248	0,1205

Таким чином, із наведених на рис. 1, 2 графіків видно, що підвищення ефективності процесу осадження зависі після перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції підвищується з ростом температури, а коефіцієнт осадження при цьому зменшується як за розрахунковими так і за дослідними даними.

Висновки. Отримана модель ефективності процесу осадження зависі після перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції, яка дозволяє визначити ефективність осадження зависі.

Встановлено, що ефективність роботи змішувача удосконаленої конструкції вище ніж звичайного перегородчастого змішувача коридорного типу на 13-24%. При цьому флокули, які утворюються в змішувачі удосконаленої конструкції більш щільні. Це дозволяє підвищити ефект осадження зависі у відстійниках.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
2. Водоснабжение / [А.Я. Найманов, С.Б. Никиша, Н.Г. Насонкина и др.] – Донецк: ООО «Норд Компьютер», 2006. – 654 с.
3. Грабовский П.А. Очистка природных вод: Учебное пособие / П.А. Грабовский, Г.М. Ларкина, В.И. Прогульный, - Одесса: ОГАСА, 2003. – 267с.
4. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3т. Т2. Очистка и кондиционирование природных вод. – Изд. 3-е, перераб. и доп.: Учебное пособие / [М.Г. Журба, Л.И.Соколов, Ж.М.Говорова]. – М.: Изд. АСВ, 2010.– 532 с.
5. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод: Учебник / Г.И.Николадзе.- М.: Высш. шк., 1987. - 479с
6. Тугай А.М. Водопостачання: Підручник / А.М. Тугай, В.О.Орлов. – К.: Знання, 2009.– 735 с.
7. Фізико-хімічні методи обробки природних вод: Навчальний посібник / [С.М. Епоян, Р.І. Назарова, О.М. Коновалов та ін.]. – Харків: Точка, 2010. – 262с.
8. Куликов Н.И. Теоретические основы очистки воды: Учебное пособие / [Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.П. Омельченко, В.Н.Чернышев]. – Донецк: Издат. «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. – 298 с.
9. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник: / [О.А.Василенко, П.О.Грабовський, Г.М. Ларкіна та ін.]. К.: ІВНВКП “Укреліотех”, 2010. – 272с.
10. Bratby J. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment / J. Bratby. – Third Edition. – London: IWA Publishing, 2016. – 538p.
11. Dobias B. Coagulation and Flocculation /B. Dobias, H. Stechemesser. - Second Edition. - Boca Raton: CRC Press, 2005, Reference - 882 p.
12. Vigneswaran S. Water Treatment Processes: simple options / S.Vigneswaran, C.Visvanathan. - Boca Raton: CRC Press, 1995. - 224 p.
13. ДБН В.2.5.-74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013.– 172 с.
14. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод: Навчальний посібник / [С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк та ін.]. – Харків: Фактор, 2010. – 192 с.
15. Проектування і розрахунок водопровідних очисних споруд систем господарсько-питного водопостачання з поверхневих водних джерел: Навч. посібник / [С.М. Епоян, І.Л. Копелевич, О.Г.Друшляк та ін.]: під ред. С.М. Епояна. – Х.: СПД-ФО Федорко М.Ю., 2006. – 204 с.
16. Епоян С.М. Існуючі споруди змішування природних вод і методи їх удосконалення / С.М. Епоян, Г.І. Сухоруков, В.А. Яркін // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2015. – №2 (80). – С. 201-205.
17. Патент на винахід №112131 Україна МПК (51) ВОІФ 5/02СО2Ф 1/52 ВОІФ 5/06. Перегородчатий змішувач С.М. Епоян, В.А. Яр-

- кін, Д.Г. Сухоруков, Т.С. Айрапетян (Україна) – № а201502578: Заявлено 25.09.2015: Опубл. 25.07.2016, Бюл. №14.-4с.
18. Эпоян С.М. Метод повышения эффективности смешения природной воды с реагентом и методика проведения исследований / С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков, В.А. Яркин// Научный вестник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2016.-№1(83).- С.187-193.
 19. Драгинский В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. - М.: Наука, 2005. - 576 с.
 20. ДСТУ ISO 7027: 2003 Якість води. Визначення каламутності. – К.: Інститут гідротехніки і меліорації УААН, 2003. – 12 с.
 21. Таблицы физических величин. Справочник / под ред. акад. И.К. Кикоина. - М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
 22. Яркин В.А. Определение эффективности работы перегородчатого смесителя коридорного типа усовершенствованной конструкции /В.А. Яркин, С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков// Научный вестник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2018.-Т.91, №1.- С.210-214.
 23. Вадзинский Р. Статистические вычисления в среде Excel/ Библиотека пользователя/ Р. Вадзинский.- СПб.: Питер, 2008, - 608с
 24. Куприенко Н.В. Статистические методы изучения связей. Корреляционно-регрессионный анализ / Н.В. Куприенко, О.А. Пономарева, Д.В. Тихонов. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2008. – 118 с.

Эпоян С.М., Яркин В.А., Сухоруков Г.И., Сизова Н.Д. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕСИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ. Рассмотрены вопросы повышения эффективности осаждения взвеси за счет использования перегородчатого смесителя коридорного типа усовершенствованной конструкции при подготовке питьевой воды. Наведена методика проведения экспериментальных исследований. Приведены результаты исследований по определению повышения эффективности осаждения взвеси. Получена математическая модель процесса осаждения взвеси после смесителя усовершенствованной конструкции. Показана целесообразность использования смесителя усовершенствованной конструкции при подготовке питьевой воды.

Ключевые слова: перегородчатый смеситель коридорного типа усовершенствованной конструкции, методика, повышение эффективности осаждения взвеси, математическая модель, целевая перегородка.

Epyan S.M., Yarkin V.A., Sukhorukov G.I., Sizova N.D. IMPROVING SEDIMENTATION EFFICIENCY THROUGH THE USE OF AN IMPROVED DESIGN MIXER IN THE PREPARATION OF DRINKING WATER. The issues of improving the efficiency of sedimentation of the suspension through the use of a closure mixer of the corridor type of an improved design in the preparation of drinking water are considered. The technique of experimental research is given. The results of studies to determine the increase in sedimentation efficiency are presented. A mathematical model of the process of sedimentation of the suspension after the mixer of an improved design is given. The feasibility of using the mixer of the design of the design in the preparation of drinking water is shown.

Keywords: corridor-type septum mixer of improved design, methods, increasing the efficiency of sedimentation of a suspension, mathematical model, slit partition.