

С.М. ЭПОЯН, доктор технических наук  
Г.И. СУХОРУКОВ, кандидат технических наук  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
В.А. ЯРКИН  
Коммунальное предприятие «Харьковводоканал»

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ПЕРЕГОРОДЧАТОГО СМЕСИТЕЛЯ КОРИДОРНОГО ТИПА

*Показано важливість інтенсифікації процесу коагуляції води при її очищенні. Наведено результати досліджень перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції. Улаштування щілинних поперечних перегородок у коридорах змішувача підвищує ефективність змішування реагентів з водою. На основі регресійного аналізу отримано рівняння регресії, що дозволяє описати процес змішування реагентів з водою та визначити місце вводу другого реагенту.*

**Ключові слова:** перегородчастий змішувач, щілинні перегородки, ефективність змішування, рівняння регресії, другий реагент.

*Показана важность интенсификации процесса коагуляции воды при ее очистке. Приведены результаты исследования перегородчатого смесителя коридорного типа усовершенствованной конструкции. Устройство щелевых поперечных перегородок в коридорах смесителя повышает эффективности смешивания реагентов с водой. На основе регрессионного анализа получено уравнение регрессии, которое позволяет описать процесс смешивания реагента с водой и определить место ввода второго реагента.*

**Ключевые слова:** перегородчатый смеситель, щелевые перегородки, эффективность смешивания, уравнение регрессии, второй реагент.

*The importance of intensifying the coagulation process during water clarification is shown. The results of the study of a partition mixer of the corridor type of the improved design are given. The device of slit lateral partitions in the corridors of the mixer increases the efficiency of mixing the reagents with water. On the basis of regression analysis, a regression equation is obtained, which allows us to describe the process of mixing the reagent with water and determine the location of the second reagent.*

**Keywords:** partition mixer, slotted partitions, mixing efficiency, regression equation, second reagent.

**Введение.** Весь комплекс очистных сооружений водоснабжения состоит из ряда сооружений, которые подготавливают и очищают воду.

Технологические схемы подготовки и очистки воды могут быть самые разнообразные и зависят от физико-химических показателей исходной воды и требований потребителя к ее качеству [1,237; 2,8; 3,34; 4,235; 5,8].

Наиболее распространенным методом очистки воды от взвешенных и коллоидных загрязнений является метод обработки воды коагулянтном, который требует поиска путей для его усовершенствования, а именно увеличение скорости формирования и выпадения коагулированных взвесей в осадок [3,178; 6,80; 7, 302].

Интенсификация процесса коагуляции имеет большое значение в связи с возрастающими требованиями к качеству питьевой воды [8,37; 9,6; 10,15].

Таким образом, повышение эффективности смешения исходной воды с реагентом на водопроводных очистных сооружениях является актуальной задачей.

**Постановка проблемы.** Интенсификация процесса коагуляции заключается в выборе необходимой скорости формирования хлопьев и степени отделения взвеси в объеме обрабатываемой воды, что в конечном итоге играет решающую роль для повышения эффективности осветления воды [11,29; 12,90; 13,81; 14,338].

Процесс смешения раствора коагулянта с водой определяет последующие стадии образования хлопьев гидролизованных форм коагулянта, отстаивания и фильтрование. Гидродинамический режим смешения раствора коагулянта с сырой водой определяет кинетику образования хлопьев, их размер и плотность [15,262; 16, 197; 17,75; 18, 68].

Смешение исходной воды с реагентами осуществляется, как правило, в специальных сооружениях-смесителях. Смесители могут быть гидравлическими и механическими, в зависимости от условий смешивания потока воды с реагентом. Смесители гидравлического типа характеризуются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью, и нашли широкое распространение в нашей стране.

Однако, они не всегда обеспечивают оптимального протекания процессов коагуляции. Недостатками этих конструкций также является невозможность регулирования интенсивности смешения воды, потому что перегородки или устройства для смешивания устроены стационарно. Кроме того, смесители практически используются для смешивания только одного реагента с водой. Поэтому актуальным является усовершенствование конструктивных особенностей гидравлических смесителей для повышения эффективности их работы.

К смесителям гидравлического типа относятся и перегородчатые смесители коридорного типа с горизонтальным движением воды с поворотами на 180°, число поворотов 8-10, которые эксплуатируются на водоочистных комплексах. Однако, смешения реагента с водой в них также протекает при одних и тех же условиях и одинаковых параметрах работы в летний и зимний периоды, а также в периоды паводков. При этом снижается эффективность реагентной обработки и повышается расход коагулянта.

**Целью** данных исследований является интенсификация работы перегородчатого смесителя коридорного типа.

**Основной материал.** В процессе исследований была поставлена задача, подавать различные реагенты в разные места смесителя и регулировать интенсивность смешивания очищаемой воды с реагентом [19,205].

Для интенсификации работы перегородчатого смесителя коридорного типа было предложено установить щелевые поперечные съемные перегородки в коридорах смесителя, а раствор реагентов подавать через лучевые распределители [20,1].

Исследования работы смесителя лучше проводить в лабораторных условиях на моделях, так как на станциях очистки воды должно находиться не меньше двух смесителей, а резервных смесителей не предусматривается, что очень затрудняет условия исследований и эксплуатации.

Моделирование физических явлений представляет собой эффективный метод экспериментальных исследований. Этот метод позволяет на уменьшенной или увеличенной модели изучаемого процесса проводить качественные и количественные наблюдения физических закономерностей, имеющих в натуре, которая часто бывает недоступна для исследований. При этом изучение явлений на модели можно осуществить значительно проще и полнее, чем в натуре. Однако, результаты опытов, проведенных на моделях, могут быть применимы для условий природы, если при проведении опытов будут соблюдены определенные законы моделирования.

Задача физического моделирования - воспроизведение в уменьшенном масштабе изучаемого явления. Естественно, что такое воспроизведение должно обеспечить полное подобие натурального и модельного явления; это означает, что на модели должны наблюдаться процессы той же физической природы, что и в натуре; когда речь идет о движении жидкости, то должно быть обеспечено полное механическое подобие явления; только в этом случае результаты, наблюдаемые на модели, могут быть перенесены на природу.

При моделировании желательно учесть действия сил тяжести и трения [21,18; 22,19;], то есть необходимо одновременно получить равенство числа Рейнольдса и Фруда для модели и природы.

При моделировании по критерию Фруда, скорость движения потока воды в модели горизонтального отстойника необходимо уменьшить в величину корня квадратного с коэффициента масштаба геометрического подобия, а при моделировании по критерию Рейнольдса ее необходимо увеличить в величину коэффициента масштабного геометрического подобия, что одновременно сделать невозможно. Поэтому при моделировании исследуется действие одной силы, которая является главной в явлении, что изучается.

Для геометрически подобных модели и природы, согласно А.А. Сурина [23,38] рассматривают явления движения взвеси в условиях равенства скоростей ( $V_m = V_n$ ), исходя из следующих положений:

- при тождестве входных условий и равенстве скоростей закон падения их в струе будет один и тот же для модели и природы;
- при сохранении геометрического подобия модели и природы и равенства скоростей в них моделировать взвесь не требуется вследствие одинаковых условий ее осаждения (равенство охватываемых скоростей);
- при геометрическом подобии природы и модели равенство скоростей обеспечивает сохранение основных факторов образования и осаждения хлопьев коагулянта.

Моделирование по принципу равенства скоростей позволяет удовлетворять многим критериям подобия  $R_e$ ,  $F_r$  и другим.

Таким образом, в случае со смесителем, в том числе и с перегородчатым смесителем коридорного типа необходимо придерживаться моделирования по критерию равенства скоростей при геометрическом подобии модели и природы, а также при сохранении режима движения воды в них.

Экспериментальные исследования проводились на модели перегородчатого смесителя коридорного типа с горизонтальным движением воды с поворотом на  $180^\circ$ , число поворотов 9 при равенстве скоростей движения потока воды в природе и в модели. В качестве замутнителя служил коагулянт – сернокислый алюминий. Коэффициент эффективности смешения ( $K_c$ ) определяется как отношение минимальной мутности воды ( $M_{min}$ ) к максимальной ( $M_{max}$ ) в каждом канале смесителя. Пробы отбирались в одном и том же месте канала смесителя, но на разных высотах потока.

В исследованиях были приняты щелевые перегородки при скорости движения воды в щелях 0,9...1,1 м/с, а в коридорах от 0,7 до 0,5 м/с. Щелевые перегородки устанавливались в разных коридорах. Температура воды изменялась от 7 до  $17^\circ\text{C}$ . Раствор коагулянта подавался перед щелевыми перегородками по ходу движения потока воды через специальные распределители реагента лучевого типа, которые устанавливались вертикально, а лучи распределителя располагались перпендикулярно щелям щелевых перегородок. Опыты проводились при одинаковых условиях работы смесителя как с щелевыми перегородками, так и без них, что давало возможность сравнивать коэффициенты эффективности смешения ( $K_c$ ). Мутность воды определялась с помощью фотоэлектрокалориметра UV 1600 и весовым способом.

На рис.1 приведена схема экспериментальной установки.

В данную схему входят: перегородчатый смеситель коридорного типа 1; сосуды Мариота 2 на шлангах которых установлены вентили для регулирования расходов реагентов 4, приемные воронки 5, после которых реагенты поступают в лучевые распределители перед щелевыми перегородками (или без них); водопроводная вода по трубопроводу 6

поступает в бак 7 откуда насосом 8 подается в перегородчатый смеситель коридорного типа 1 и далее по трубопроводу 9 в сборный резервуар 10 откуда погружным насосом 11 по трубопроводу 12 сбрасывается в канализацию; перегородчатый смеситель 1 снабжен пробоотборниками 13; смеситель оборудован запорно-регулирующей арматурой 14 и счетчиком воды 15.

Эксперименты показали, что коэффициент эффективности смешения достигает своего максимального значения ( $K_c = 1$ ) значительно раньше в смесителях с щелевыми перегородками.

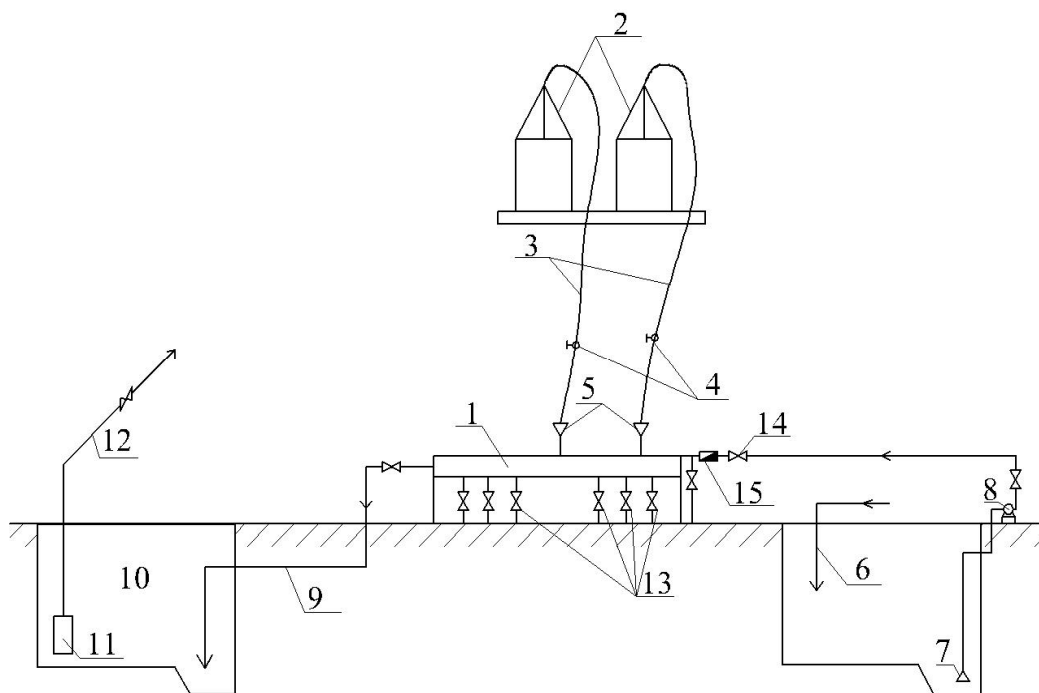


Рис.1. Схема экспериментальной установки

Используя регрессионный анализ [24,408] определяем модель процесса смешения реагента с водой в перегородчатом смесителе коридорного типа усовершенствованной конструкции.

Выбираем функцию, которая аппроксимирует зависимость изменения коэффициента смешения по длине смесителя в виде:

$$K_c = K(V, T, L),$$

где  $K_c$  – коэффициент эффективности смешения;  $V$  – скорость движения воды в щелях перегородки, м/с,  $T$  – температура воды, °С;  $L$  – координата точки в которой определяется коэффициент эффективности смешения, м.

Одной из наиболее распространенных моделей регрессии является многочлен  $m$ -й степени ( $1 \leq m < n$ ). Принимаем 2-ю степень. Тогда модель регрессии имеет вид:

$$y = B_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2,$$

где  $b_i$  – параметры регрессии;  $x_1 - V$ ;  $x_2 - T$ ;  $x_3 - L$ .

Оценка адекватности выбранной модели регрессии производилась в соответствии с правилами регрессионного анализа.

При проведении регрессионного анализа, на основании обработки 27 экспериментальных точек были получены результаты расчетов. Близкий к единице коэффициент множественной корреляции  $R = 0,9923$  и детерминации  $R$ -квadrата  $= 0,9847$ , большое расчетное значение  $F = 215,173$ , статистика Фишера и очень малое значение значимости  $F = 4,38E-17$ , свидетельствуют о высокой адекватности модели регрессии. Искомую зависимость можно выразить полиномом:

$$K_c = 0,6907 - 0,1018 \cdot V - 0,0016 \cdot T + 0,0339 \cdot L + 0,2325 \cdot V^2 + 0,0002 \cdot T^2 - 0,0018 \cdot L^2$$

Таким образом, в результате проведенных исследований получена модель процесса смешения реагентов с водой в перегородчатом смесителе коридорного типа усовершенствованной конструкции, которая позволяет определить место полного смешения реагента с водой, то есть место установки второй щелевой перегородки для интенсификации смешения второго реагента с водой.

### **Выводы**

1. Существующий метод очистки природных вод коагулированием требует усовершенствования. Интенсификация процесса коагуляции позволит улучшить качество очистки воды.

2. Установка щелевых перегородок в коридорах перегородчатого смесителя коридорного типа повышает эффективность смешения реагентов с водой.

3. Получено уравнение регрессии процесса смешения реагентов с водой в перегородчатом смесителе коридорного типа усовершенствованной конструкции.

4. Полученная модель процесса смешения реагентов с водой в перегородчатом смесителе коридорного типа дает возможность определить место ввода второго реагента перед второй щелевой перегородкой.

### **Список литературы**

1. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1982. 440 с.

2. *Эпоян С.М., Колотило В.Д., Друшляк О.Г., та ін.* Водопостачання та очистка природних вод: Навчальний посібник. Харків: Фактор, 2010. 192 с.

3. *Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М.* Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод: Учебное пособие. М.: Издат. АСВ, 2010. 532 с.

4. *Найманов А.Я., Никиша С.П., Насонкина Н.Г. и др.* Водоснабжение. Донецк: ООО «Норд Компьютер», 2006. 654 с.

5. *Повышение эффективности* работы сооружений при очистке питьевой воды: монография / С. М. Эпоян, Г. И. Благодарная, С.С. Душкин, В.А. Сташук; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. Х. :ХНАГХ, 2013. 190 с.

6. *Мякишев В.А.* Модернизация коммунальных систем водоснабжения и водоотведения. Симферополь: НАПКС, 2005. 200 с.

7. *Тугай А.М., Орлов В.О.* Водопостачання: Підручник. К.: Знання, 2009. 735 с.
8. *ДБН В.2.5-74:2013* Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 172 с.
9. *ДСанПін 2.2.4-171-10.* Гігієнічні вимоги до води питної, призначення для споживання людиною. МОЗ України, 2010.
10. *Мякишев В.А.* Совершенствование технологии подготовки питьевой воды и внедрения СанПиНа. Пособие по дисциплине «Технология очистки природных вод». Симферополь: НАПКС, 2003. 203 с.
11. *Василенко О.А., Грабовський П.О., Ларкіна Г.М., та ін.* Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник. К.: УВНВКП «Укрґеліотех», 2010. 272с.
12. *Епоян С.М., Назарова Р.І., Коновалов О.М. та ін.* Фізико-хімічні методи обробки природних вод: Навчальний посібник. Х.: Видавництво «Точка», 2010. 262 с.
13. *Николадзе Г.И.* Технология очистки природных вод: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1987. 479 с.
14. *Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К.: Аграрна наука, 2008. 534 с.
15. *Бабенков Е.Д.* Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356с.
16. *Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В.* Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: Наука, 2005. 571 с.
17. *Куликов Н.И., Найманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышев В.Н.* Теоретические основы очистки воды: Учебное пособие. Донецк: Изд. «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. 298 с.
18. *Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач.* 2-е изд., перераб и доп. К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. 352 с.
19. *Епоян С.М., Сухоруков Г.І., Яркін В.А.* Існуючі споруди змішування природних вод і методи їх удосконалення// Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2015. № 2 (80). С. 201- 205.
20. *Патент України на винахід № 112131 МПК В01F 5/02 (2006.01).* Перегородчастий змішувач / С.М. Епоян, В.А. Яркін, Д.Г. Сухоруков, Т.С. Айрапетян / Україна №201502578. Заявл. 23.03.2015. Опубл. 25.07.2016. Бюл. № 14. 4 с.
21. *Лапшев Н.Н.* Гидравлическое моделирование: Учебное пособие. Л.: ЛИСИ. 1980. 72с.
22. *Левы И.И.* Моделирования гидравлических явлений. М.: Госэнергоиздат, 1960. 320с.
23. *Сурин А.А., Городищев З.Я.* Исследование на моделях режима работы горизонтальных отстойников. Сборник научных работ ЛИИИКХ. Л., 1950. Вып.1.
24. *Вадзинский Р.* Статические вычисления в среде Excel. Библиотека пользователя. СПб.: Питер, 2008. 608с.

*Стаття надійшла до редакції 8.12.17*