

УДК 628.16

С.М.ЭПОЯН, д-р техн. наук, С.С.ДУШКИН

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ВОДЫ АКТИВИРОВАННЫМ РАСТВОРОМ КОАГУЛЯНТА НА ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОДЫ НА СКОРЫХ ФИЛЬТРАХ**

Рассматривается влияние активированного раствора коагулянта сульфата алюминия на параметры фильтрования воды на скорых фильтрах. Установлено, что технологические параметры фильтрования воды на скорых фильтрах могут быть улучшены при использовании активированного раствора коагулянта в процессах очистки воды.

Розглядається вплив активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на параметри фільтрування води на швидких фільтрах. Встановлено, що технологічні параметри фільтрування води на швидких фільтрах можуть бути покращені при використанні активованого розчину коагулянту в процесах очищення води.

Influence of the activated solution of coagulant of sulfate of aluminium is examined on the parameters of filtration of water on quick filters. It is set that the technological parameters of filtration of water on quick filters can be improved at the use of the activated solution of coagulant in the processes of water treatment.

*Ключевые слова:* очистка воды, активированные растворы, скорые фильтры, продолжительность фильтроцикла, качество питьевой воды.

В настоящее время уделяется внимание вопросам интенсификации процесса очистки природных и сточных вод, усовершенствованию его технологии, разработке новых эффективных методов интенсификации очистки воды. Это позволит упростить существующую технологию обработки воды, сократить трудоемкие процессы приготовления и дозирования реагентов, уменьшить затраты на эксплуатацию очистных сооружений, увеличить их производительность, повысить качество и уменьшить себестоимость очищенной воды [1].

В последнее время все большее значение для решения этой проблемы приобретают физические методы, основанные на воздействии на водную систему внешних полей (магнитных, электрических, ультразвуковых и др.). Эти методы очистки воды универсальны, эффективны и экономичны.

Перспективным методом очистки коллоидно-дисперсных систем является обработка их реагентами, подвергнутыми магнитно-электрической активации, осуществляемой в специальных устройствах – активаторах реагентов. Метод применим для очистки большинства примесей коллоидной степени дисперсности, и начинает использоваться в промышленной технологии очистки природных и сточных вод [2].

Целью данной работы является выполнение исследований, позволяющих обосновать использование активированного раствора коагулянта сульфата алюминия для интенсификации процессов фильтрования воды на скорых фильтрах в системах водоснабжения.

В технологическом процессе очистки воды фильтрование выполняется на скорых фильтрах с зернистой загрузкой после коагулирования и предварительного отстаивания осветленной воды. Из известных теорий процесса очистки воды фильтрованием наибольшее признание получила теория Д.М. Минца [3], согласно которой процесс осветления фильтруемой суспензии можно рассматривать как суммарный результат двух противоположно направленных процессов: прилипание задерживаемых частиц к макроповерхности под действием сил адгезии и отрыва, ранее прилипших частиц под влиянием гидродинамических сил потока, и переноса их в следующие слои загрузки (суффозия). Осветление воды в каждом элементарном слое загрузки происходит до тех пор, пока интенсивность прилипания частиц превышает интенсивность их отрыва. По мере накопления осадка интенсивность отрыва частиц увеличивается. При очистке воды процесс фильтрования интересен в той стадии, когда прилипание частиц превалирует над их отрывом. Соотношение между силами адгезии и гидродинамическими усилиями, возникающими при движении воды, может быть записано в виде неравенства.

$$\frac{\Gamma_M \delta}{f(l)} \gg 3\pi\delta\eta V_n, \quad (1)$$

где  $\Gamma_M$  – константа адгезии двух веществ (константа Гамакера);  $\delta$  – размер прилипающих частиц;  $f(l)$  – величина, зависящая от формы частиц и расстояния между ними;  $\eta$  – вязкость воды;  $V_n$  – составляющая скорости потока, нормальная к поверхности частицы.

Левая часть уравнения характеризует силы адгезии, правая – гидродинамические условия.

Отрыв частиц при воздействии водного потока происходит, когда сила отрыва  $F_{omp}$  в состоянии преодолеть силу адгезии  $F_{ad}$  и массу частиц  $P$ , т.е.

$$F_{omp} \geq \mu \cdot (F_{ad} + P), \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения.

Если  $F_{ad} \gg P$ , то  $F_{omp} \geq \mu \cdot F_{ad}$ . Сила воздействия потока на частицу зависит от плотности и вязкости среды, диаметра частиц, скорости потока и условий обтекания прилипших частиц потоком.

По Д.М. Минцу [3], критерием оптимального режима фильтрации служит отношение между продолжительностью защитного действия загрузки  $t_3$  и временем работы фильтра до момента достижения предельной потери напора  $t_n$ . В технологическом и экономическом отношениях наилучшим режимом является такой, при котором  $t_3 = t_n$ . Тем не менее, с точки зрения санитарной надежности целесообразно принимать значение  $\frac{t_3}{t_n} > 1$ , так как при этом в течение всего фильтроцикла гарантируется высокое качество фильтрата, повышается степень санитарной надежности сооружений.

Исследования выполнены на фильтровальной установке по методике, приведенной ранее [4], с использованием предварительно осветленной модельной мутно-цветной воды с содержанием взвеси  $175 \text{ мг/дм}^3$ , цветностью  $75 \text{ град.}$ , температурой  $- 11,8-12,2^\circ\text{C}$ , временем отстаивания  $2 \text{ ч}$ . Параметры работы установки: скорость фильтрации  $- 6 \text{ м/ч}$  ( $0,167 \text{ см/с}$ ), расход подаваемой воды  $- 13,3 \text{ см}^3/\text{с}$ , расход воды на один фильтроцикл  $- 50 \text{ литров}$ , объем бака  $- 1 \text{ м}^3$ .

Во время проведения опытов качество фильтрата оценивали по мутности осветленной воды. Содержание коагулированных примесей в осветляемой воде не превышало  $8 \text{ мг/дм}^3$ , цветность  $-$  не более  $35 \text{ град}$ . Количество взвеси, подаваемой на фильтровальную лабораторную установку, определяли по «кресту»  $-$  не менее  $114-115 \text{ см}$  ( $\sim 8 \text{ мг/дм}^3$ ). Промывку фильтровальной кварцевой загрузки выполняли осветленной водой в течение  $7 \text{ минут}$ , интенсивность промывки составляла  $10 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ .

Выполнено  $7$  серий экспериментов на параллельно работающих фильтровальных колонках: на одну из колонок подавалась предварительно осветленная и отстаивная в течение  $2 \text{ ч}$  вода, обработанная обычным раствором коагулянта и вода, обработанная активированным раствором коагулянта. Условия проведения осветления и отстаивания модельной воды  $-$  одинаковы.

Влияние обработки воды активированным раствором коагулянта на продолжительность защитного действия загрузки  $t_z$  и время достижения предельно допустимой потери напора  $t_n$  показана в табл. 1 и на рис. 1.

Анализ опытных данных свидетельствует, что обработка воды активированным раствором коагулянта позволяет интенсифицировать процесс фильтрования воды, что сказывается на продолжительности защитного действия загрузки  $t_z$  и времени достижения предельно допустимой потери напора  $t_n$ : в среднем  $t_z$  увеличивается на 32,1%, а  $t_n$  – в среднем 26,6%. Так, продолжительность защитного действия загрузки фильтра при обработке осветляемой воды обычным раствором коагулянта находится в пределах 350-375 мин, а активированным раствором коагулянта – 470-485 мин. Среднее значение  $t_z$  при обработке воды обычным и активированным растворами коагулянтов составляет, соответственно, 361 и 477 мин. Время достижения предельно допустимой потери напора ( $t_n$ ) при обработке воды обычным раствором коагулянта находится в пределах 450-480 мин, активированным – 575-595 мин. Эффективность изменения параметров фильтрования при использовании активированного раствора коагулянта сульфата алюминия составляет:  $t_z$  увеличивается 32,1%,  $t_n$  увеличивается 26,6%.

Среднее значение  $t_z$  при обработке осветляемой воды обычным раствором коагулянта составляет 6 ч. 01 мин, активированным – 7 ч. 57 мин; изменение  $t_n$  соответственно – 7 ч 41 мин и 9 ч 44 мин (рис. 2), что позволяет сделать вывод о возможности интенсификации работы фильтров при обработке осветляемой воды активированным раствором коагулянта.

Использование активированного раствора коагулянта при очистке воды позволяет увеличить продолжительность фильтроцикла на 25-30% без ухудшения качества фильтрата. При этом качество фильтрата на продолжении фильтроцикла на 30-35% выше, чем при использовании обычного раствора коагулянта, что подтверждается опытными данными, приведенными в табл. 2 и на рис. 2. Мутность фильтрата осветленной воды при обработке обычным раствором коагулянта осветляемой воды находится в пределах 0,72-0,77 мг/дм<sup>3</sup> при использовании активированного раствора коагулянта качество фильтрата значительно выше и составляет 0,41-0,48 мг/дм<sup>3</sup>. Продолжительность фильтроцикла при обработке воды обычным раствором коагулянта – 6 ч – 6 ч 30 мин., активированным – 7 ч 30 мин – 8 ч (рис. 2). Мутность



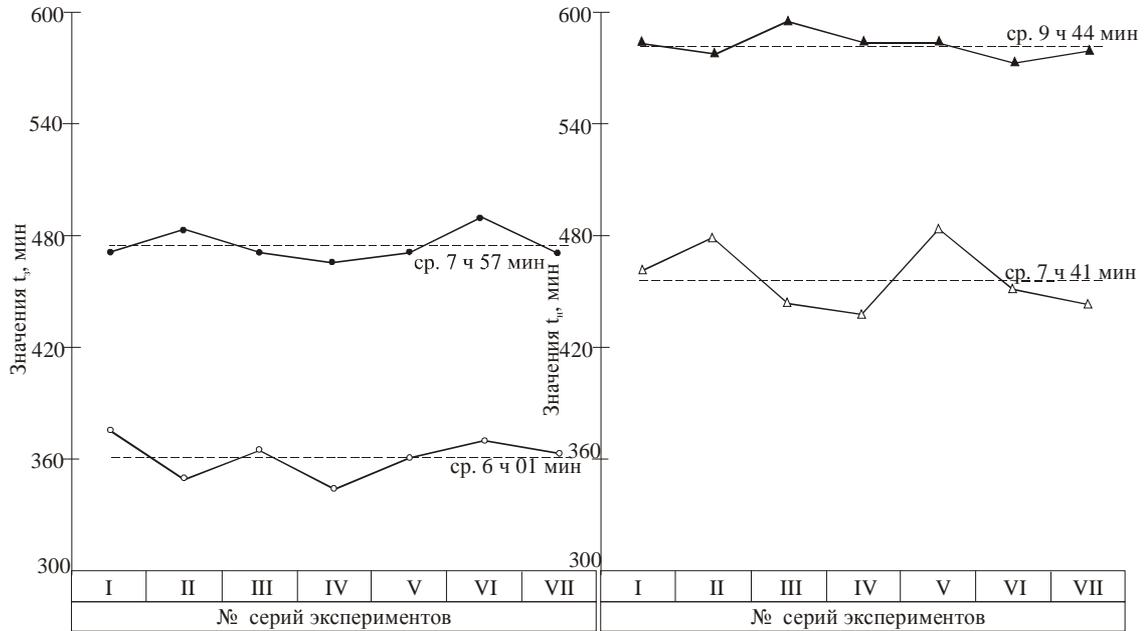


Рис. 1 – Влияние обработки воды активированным раствором коагулянта сульфата алюминия на продолжительность защитного действия загрузки  $t_3$  и время достижения предельно допустимой потери напора  $t_n$ :

•  $t_3$ , ▲,  $t_n$  - активированный раствор коагулянта; ○  $t_3$ , △,  $t_n$  - обычный раствор коагулянта

филтрат на всем протяжении фильтроцикла стабильная, среднее повышение продолжительности фильтроцикла при использовании активированного раствора коагулянта составляет 25%, уменьшение мутности филтраты – 39,1%.

Продолжительность защитного действия кварцевой загрузки возрастает с увеличением удельного веса коагулированных примесей за счет уменьшения структурно-механической гидратации их, что позволяет, в конечном итоге, увеличить защитное действие кварцевой загрузки по сравнению с обычной коагуляцией примесей. Одновременно увеличится время достижения предельно допустимой потери напора. При этом обеспечиваются условия санитарной надежности очистки воды ( $t_3 > t_n$ ), что позволяет обеспечить оптимальный режим фильтрования воды через зернистую загрузку фильтра.

Повышение качества осветления воды перед ее фильтрованием оказывает влияние на работу всей системы очистных сооружений в целом. Известно, что мелкая трудноудаляемая взвесь, оседающая со скоростью 0,1-0,2 мм/с, вместе с осветляемой водой попадает на сооружения II ступени очистки – фильтры, где часть ее отлагается в пленке на поверхности фильтров, а часть – в порах фильтрующего слоя и т.д. Вследствие этого сопротивление при проходе воды через фильтры увеличивается и при достижении некоторой предельной величины загрузка должна отмываться от задержанных ею загрязнений. Продолжительность фильтроцикла, т.е. время работы фильтра от промывки до промывки существенным образом влияет на производительность очистных сооружений. Кроме того, расходы, связанные с промывкой фильтров, составляют большую часть (более 70%) текущих расходов по эксплуатации фильтров, поэтому, чем меньше будет содержание взвеси в воде, подаваемой на фильтры, тем больше будет продолжительность фильтроцикла, т.е. очистные сооружения будут работать эффективнее и, наоборот, при увеличении количества взвеси в фильтруемой воде продолжительность фильтроцикла уменьшается.

Исследования показали, что продолжительность защитного действия загрузки возрастает с увеличением плотности коагулированных примесей за счет уменьшения их структурно-механической гидратации, что позволяет увеличить защитное действие кварцевой загрузки в сравнении с обычной коагуляцией примесей. Одновременно увеличивается время достижения предельно допустимой потери напора. При этом, если при обычном коагулировании  $t_3$  изменяется скачкообразно, достигая минимума в период весеннего паводка и в осенне-зимний период, то при использовании активированного раствора коагулянта

защитное действие загрузки более стабильно, отклонения незначительны, что повышает санитарную надежность очистки воды. Аналогичные явления наблюдаются и при анализе времени  $t_n$ , необходимого для достижения предельно допустимой потери напора (2,5 м) [4, 5].

Таблица 2 – Влияние активированного раствора коагулянта сульфата алюминия на продолжительность фильтроцикла (5 серия экспериментов, табл. 1)

| № п/п | Продолжительность фильтроцикла, ч | Мутность фильтрата осветленной воды, мг/дм <sup>3</sup> |                                   | Изменение, %                   |                    |
|-------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|
|       |                                   | обычный раствор коагулянта                              | активированный раствор коагулянта | продолжительности фильтроцикла | мутности фильтрата |
| 1     | 0,5                               | 0,77  | 0,41                              |                                |                    |
| 2     | 1                                 | 0,75  | 0,42                              |                                |                    |
| 3     | 2                                 | 0,72  | 0,46                              |                                |                    |
| 4     | 3                                 | 0,74  | 0,48                              |                                |                    |
| 5     | 4                                 | 0,72  | 0,48                              |                                |                    |
| 6     | 5                                 | 0,72  | 0,46                              |                                |                    |
| 7     | 5 ч 30 мин                        | 0,77  | 0,43                              |                                |                    |
| 8     | 6                                 | 0,75  | 0,45                              |                                |                    |
| 9     | 6 ч 30 мин                        | 0,93  | 0,45                              |                                |                    |
|       | (промывка)                        |   |                                   |                                |                    |
| 10    | 7                                 | –   | 0,43                              |                                |                    |
| 11    | 7 ч 30 мин                        | –   | 0,48                              | 25                             | 39,1               |
| 12    | 8                                 | –   | 0,63                              |                                |                    |
|       | (промывка)                        |   |                                   |                                |                    |

Таким образом, использование активированного раствора коагулянта сульфата алюминия позволяет повысить эффективность работы скорых фильтров, что находит свое выражение в увеличении продолжительности защитного действия загрузки и времени достижения

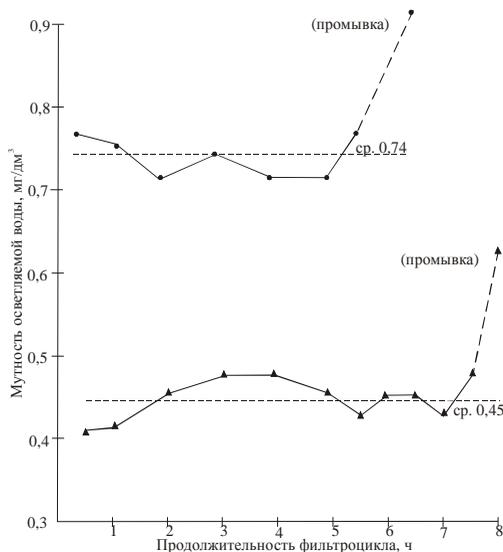


Рис. 2 – Влияние активированного раствора коагулянта сульфата алюминия на продолжительность фильтроцикла (5 серия экспериментов, табл. 49)

● – активированный раствор коагулянта; ▲ – обычный раствор коагулянта

предельных значений допустимой потери напора при фильтровании воды на скорых фильтрах без ухудшения качества осветленной воды.

1. Эпоян С.М. Анализ существующих методов повышения эффективности работы для подготовки воды / С.М. Эпоян, С.С. Душкин, В.А. Сташук // Вісник ХНУБА. – Х.: ХОТВ АБУ, 2012 – Вип.67. – С. 261-265.

2. Эпоян С.А. Активированные растворы реагентов в процессах очистки природных вод / С.А. Эпоян, С.С. Душкин // Програма и тезиси докладов ХХХVI науково-технічної конференції преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. – Х., 2012 – С. 126.

3. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д.М. Минц. – М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.

4. Душкин С.С. Методологические аспекты проведения исследований при использовании активированных растворов коагулянтов в процессе очистки воды / С.С. Душкин // Комунальне господарство міст: научн.-техн. зб. – Х.: ХНАМГ, 2012 – Вип. 105 – С. 320-334.

5. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография / С.М. Эпоян., Г.И. Благодарная, С.С. Душкин, В.А. Сташук. – Х.: ХНАГХ, 2013. – 190 с.

Получено 28.05.2013