

Экспериментальные исследования влияния интенсивности перемешивания минеральных коагулянтов с водой на эффективность водоочистки

М.А. Сафронов, С.М. Салмин, Д.О. Латышов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Проведены экспериментальные исследования влияния интенсивности перемешивания минеральных коагулянтов с водой на эффективность водоочистки в различные периоды года. Получены результаты, позволяющие оценить эффективность использования концентрированного коагулирования, высокоградиентного перемешивания при очистке воды минеральными коагулянтами. Проведена оценка возможности отдельного, а также совместного использования минеральных коагулянтов в различные периоды года.

Ключевые слова: природная вода, коагулянт, концентрированное коагулирование, высокоградиентное перемешивание, смешанный коагулянт, градиент скорости.

Экспериментальные исследования в рамках данной статьи проводились с использованием минеральных коагулянтов – сернокислый алюминий (СА) и полиоксихлорид алюминия (ПОХА), в летний, осенне-зимний и весенний периоды года. Дозирование коагулянтов в воду осуществлялось по способу концентрированного коагулирования, который может быть использован для повышения эффективности процесса [1] и заключающийся в разделении общего потока очищаемой воды на основной и вспомогательный [2]. При этом, вся расчетная доза коагулянта вводится во вспомогательный поток, который затем смешивается с основным.

Необходимость проведения исследований в различные периоды года вызвана существенными изменениями ряда важных показателей очищаемой воды, оказывающих значительное влияние на процесс водоочистки, таких, как мутность, цветность и температура [3-5].

Обработка воды коагулянтами осуществлялась на установке, представленной на рис. 1. Целью первого этапа экспериментальных исследований был выбор оптимальных доз реагентов при различном соотношении вспомогательного и основного потоков воды [6,7].

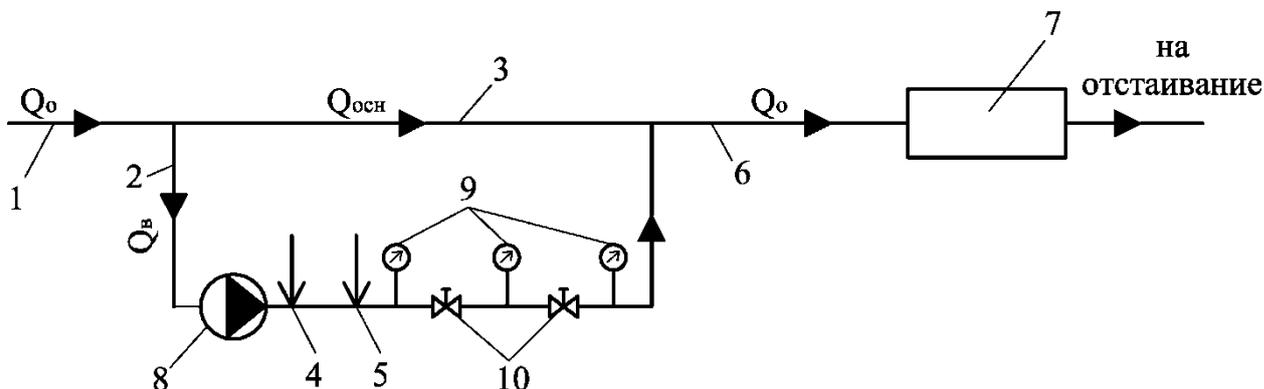


Рис. 1 Схема обработки воды растворами реагентов СА и ПОХА при концентрированном коагулировании: 1 – трубопровод подачи воды; 2 – трубопровод для отвода части воды на реагентную обработку (вспомогательный поток воды); 3 – основной поток; 4 – подача коагулянта ПОХА; 5 – подача коагулянта СА; 6 – трубопровод для отвода общего потока; 7 – камера хлопьеобразования; 8 – повысительный центробежный насос; 9 – манометры; 10 – дроссельные устройства

На втором этапе исследовалась степень влияния режимов перемешивания коагулянтов, при добавлении их во вспомогательный поток очищаемой воды.

В ходе исследований для определения относительного количества (объема) воды, смешиваемого с коагулянтами использовалась следующая формула:

$$K = \frac{W_{всп}}{W_{общ}} \cdot 100\% = \frac{W_{всп}}{W_{всп} + W_o} \cdot 100\% \quad (1)$$

где $W_{всп}$ – объем вспомогательного потока воды, смешанной с коагулянтами;

W_o – объем основного потока воды;

$W_{общ}$ – объем общего количества исходной воды.

Значение K , в ходе проведения экспериментальных исследований варьировалась в пределах 10-40 %.

Характеристики исходной воды в летний период года представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатель	Значение
Мутность (М), мг/л	4,8-5,7
Цветность (Ц), град	21-24
Температура (t), °С	22-23
Водородный показатель (рН)	7,5-7,6
Перманганатная окисляемость (ПО), мгО ₂ /л	4,6-5,7
Щелочность (Щ), мг/л	2,1-2,3

Для обработки данной воды использовался коагулянт СА, а также флокулянт полиакриламид (ПАА) с дозами соответственно 10 и 0,07 мг/л. После обработки воды стандартным способом коагулирования (контрольная проба) мутность после фильтрования составляла порядка 0,25 мг/л.

При обработке воды коагулянтами СА, ПОХА, а также совместном их использовании [8] перемешивание с водой осуществлялось при градиенте скорости 120 с^{-1} . Для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности требовались дозы коагулянта СА – 8-10 мг/л (при $K=10-40\%$); ПОХА – 7 мг/л (при $K=30-40\%$); СА+ПОХА – 8+1 мг/л (при $K=10-40\%$). После обработки воды по способу концентрированного коагулирования были получены следующие результаты очистки по мутности. Коагулянт СА: $M=0,28-0,46$ мг/л; коагулянт ПОХА: $M=0,37-0,46$ мг/л; совместное использование коагулянтов СА+ПОХА: $M=0,27-0,38$ мг/л. Таким образом можно сделать вывод о возможности экономии коагулянтов в первом случае СА до 10% при значении $W_{всп}$ не менее 0,1 от $W_{общ}$. Во втором случае ПОХА до 20% при значении $K=30\%$. И в третьем случае СА+ПОХА до 20% при $K=10-40\%$.

Отметим также, что значения ПО, Ц, а также остаточного алюминия после обработки воды коагулянтами находились в рамках предельно допустимых концентраций.

На втором этапе экспериментальных исследований перемешивание вспомогательного потока очищаемой воды с растворами коагулянтов осуществлялось при более высоких значениях градиента скорости – высокоградиентное перемешивание [9]. На данном этапе также осуществлялось сравнение полученных данных с так называемой контрольной пробой. При обработке воды коагулянтом СА с пошаговым уменьшением градиента скорости на дросселях, установленных на трубопроводе вспомогательного потока, экономия коагулянта была максимально возможной. Для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности, в сравнении с контрольной пробой, требовались дозы коагулянта СА – 8 мг/л (при $K=30-40\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 25000 с^{-1} , №2 – 16000 с^{-1} , №3 – 8000 с^{-1} . При двухступенчатом перемешивании [10] удовлетворительные результаты по мутности, в сравнении с контрольной пробой, наблюдались при дозе коагулянта СА – 8 мг/л (при $K>30\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 32000 с^{-1} , №2 – 10000 с^{-1} . Мутность очищенной воды была 3,4-3,7 мг/л. При одноступенчатом перемешивании качество коагуляционной обработки снизилось вследствие образования более мелких хлопьев. Мутность очищенной воды была более 4,0 мг/л. Похожие результаты были получены при обработке воды коагулянтом ПОХА. Из данных результатов можно сделать вывод о возможности экономии коагулянта СА (ПОХА) на 20% при трехступенчатом высокоградиентном перемешивании со значением $K=30-40\%$ (10-40%).

При обработке воды смесью коагулянтов СА+ПОХА с пошаговым уменьшением градиента скорости на дросселях (три ступени) установленных на трубопроводе вспомогательного потока экономия коагулянта была максимально возможной. Для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности, в сравнении с контрольной пробой, требовались дозы коагулянта СА – 6 мг/л, ПОХА – 1,5 мг/л (при $K=30-40\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 25000 с^{-1} , №2 – 16000 с^{-1} , №3 – 8000 с^{-1} . При двухступенчатом перемешивании удовлетворительные результаты по мутности, в сравнении с контрольной пробой, наблюдались при градиентах скорости: №1 – 32000 с^{-1} , №2 – 10000 с^{-1} . Мутность очищенной воды была 3,4-3,7 мг/л. Из данных результатов можно сделать вывод о возможности экономии коагулянтов до 25%.

Характеристики исходной воды в осенне-зимний период года представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатель	Значение
Мутность (М), мг/л	6,3-6,7
Цветность (Ц), град	21-24
Температура (t), °С	3-3,4
Водородный показатель (рН)	7,8-7,9
Перманганатная окисляемость (ПО), мгО ₂ /л	3,7-4,3
Щелочность (Щ), мг/л	2,4-2,5

Для обработки данной воды использовался коагулянт СА, а также флокулянт полиакриламид (ПАА) с дозами соответственно 15 и 0,1 мг/л. После обработки воды стандартным способом коагулирования (контрольная проба) мутность после фильтрования составляла порядка 0,37 мг/л.

При обработке воды коагулянтами СА, ПОХА, а также совместном их использовании для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности требовались дозы коагулянта СА – 13 мг/л (при K – любое); ПОХА – 10-15 мг/л (при $K=30\%$); СА+ПОХА – 12+1 мг/л (при K – любое).

Таким образом можно сделать вывод о возможности экономии коагулянтов в первом и втором случаях до 20% при значении $K=30\%$.

На втором этапе экспериментальных исследований для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности, в сравнении с контрольной пробой, требовались дозы коагулянта СА – 12 мг/л (при $K=10-40\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 25000 с^{-1} , №2 – 16000 с^{-1} , №3 – 8000 с^{-1} . При двухступенчатом перемешивании удовлетворительные результаты по мутности, в сравнении с контрольной пробой, наблюдались при дозе коагулянта СА – 10 мг/л (при $K=40\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 32000 с^{-1} , №2 – 10000 с^{-1} . Мутность очищенной воды была: 0,38-0,52 мг/л. При обработке воды коагулянтном ПОХА дозой 10-12 мг/л мутность очищенной воды составила 0,38-0,49 мг/л при двух и трехступенчатом перемешивании ($K \geq 10\%$). При обработке воды смесью коагулянтов СА+ПОХА для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности, в сравнении с контрольной пробой, требовались дозы коагулянта СА – 10 мг/л, ПОХА – 1,5 мг/л (при K – любая). Мутность очищенной воды была: 0,34 мг/л.

Характеристики исходной воды во время весеннего паводка представлены в таблице 3.

Таблица 3

Показатель	Значение
Мутность (М), мг/л	54-59
Цветность (Ц), град	37-39
Температура (t), °С	2,5-2,9
Водородный показатель (рН)	7,6-7,7
Перманганатная окисляемость (ПО), мгО ₂ /л	6,5-6,9
Щелочность (Щ), мг/л	1,2-1,25

Для обработки данной воды использовался коагулянт СА, а также флокулянт полиакриламид (ПАА) с дозами, соответственно, 60 и 0,15 мг/л.

При обработке воды коагулянтами СА, ПОХА, а также совместном их использовании перемешивание с водой осуществлялось при градиенте скорости 120 с^{-1} . Для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности требовались дозы коагулянта СА – 57 мг/л (при $K \geq 10\%$); ПОХА – 50-57 мг/л (при $K \geq 30\%$); СА+ПОХА – 50+4 мг/л (при K – любой). Таким образом, можно сделать вывод о возможности экономии коагулянтов СА до 5%, СА+ПОХА до 13%.

На втором этапе экспериментальных исследований для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности, в сравнении с контрольной пробой, требовались дозы коагулянта СА – 54 мг/л (при $K=10-40\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 25000 с^{-1} , №2 – 16000 с^{-1} , №3 – 8000 с^{-1} . При двухступенчатом перемешивании удовлетворительные результаты по мутности, в сравнении с контрольной пробой, наблюдались при дозе коагулянта СА – 54 мг/л (при $K > 30\%$), градиенты скорости на дросселях имели следующие значения: №1 – 32000 с^{-1} , №2 – 10000 с^{-1} . При обработке воды коагулянтом ПОХА мутность очищенной воды составила менее 0,52 мг/л при одноступенчатом перемешивании ($K \geq 30\%$), градиент скорости на дросселе №1 – 40000 с^{-1} . Экономия коагулянта СА – 10 %, ПОХА – 17 %.

При обработке воды смесью коагулянтов СА+ПОХА для получения такой же или лучшей эффективности очистки по мутности, в сравнении с контрольной пробой, требовались дозы коагулянта СА – 42 мг/л, ПОХА – 5 мг/л (при $K > 10$). Экономия коагулянтов до 22 %.

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о высокой эффективности концентрированного ввода коагулянта в обрабатываемую воду в сравнении с традиционным способом. Стоит также отметить, что значительный эффект очистки был достигнут при трехступенчатом высокоградиентном перемешивании вспомогательного

потока с коагулянтom при минимальном значении градиента скорости на первой стадии 32000 с^{-1} . В весенний период хорошие результаты были получены при использовании смешанного минерального коагулянта, позволяющего в условиях паводка получать высокую эффективность очистки при экономии реагентов.

Литература

1. Сафронов М.А., Малютина Т.В., Хорева И.А. Разработка конструкции смесительного узла для высокоградиентного перемешивания растворов коагулянтов с водой // Инженерный вестник Дона, 2021, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6772.

2. Сафронов М.А., Тимофеева О.А. Расчет дозы минерального коагулянта при очистке воды по способу концентрированного коагулирования // Инженерный вестник Дона, 2020, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6342.

3. Драгинский В.А., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных и сточных вод. Москва, 2005. 576 с.

4. Reddy M. Chemical water treatment. Principles and practice // Journal of Hydrology. 1997. Т. 195. № 1-4. pp. 385-386.

5. Zhou Z., Hu D., Gu Y., Li H., Niu L., Li Z., Jiang L. Coagulation pretreatment and coagulant selection on thickening and dewatering sludge water // Chinese Journal of Environmental Engineering. 2014. Т. 8. № 11. pp. 4575-4580.

6. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. Москва: Наука, 1977. 356 с.

7. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. Киев, 1986. 352 с.

8. Гришин Б.М., Бикунова М.В., Кошев А.Н., Малютина Т.В. Очистка воды поверхностного источника с применением смесевых коагулянтов // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1 (46). С. 153-159.

9. Гришин Б.М., Бикунова М.В., Кошев А.Н., Шейн А.И. Эффективность коагуляционной обработки воды при безнапорном перемешивании пузырьками воздуха различной дисперсности // Региональная архитектура и строительство. 2020. №1. С. 162-168.

10. Бабенков Е.Д. Режим перемешивания воды в процессах водоподготовки // Химия и технология воды. 1984. Т. 2 № 3. С. 50-60.

References

1. Safronov M.A., Malyutina T.V., Khoreva I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6772.

2. Safronov M.A., Timofeyeva O.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6342.

3. Draginskiy V.A., Alekseyeva L.P., Getmantsev S.V. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh i stochnykh vod [Coagulation in natural and wastewater treatment technology]. Moskva, 2005. 576 p.

4. Reddy M. Journal of Hydrology. 1997. v. 195. № 1-4. pp. 385-386.

5. Zhou Z., Hu D., Gu Y., Li H., Niu L., Li Z., Jiang L. Chinese Journal of Environmental Engineering. 2014. v. 8. № 11. pp. 4575-4580.

6. Babenkov E.D. Ochistka vody koagulyantami [Water treatment with coagulants]. Moskva: Nauka, 1977. 356 p.

7. Kulskiy L.A., Stokach P.P. Tekhnologiya ochistki prirodnykh vod [Natural water treatment technology]. Kiyev, 1986. 352 p.

8. Grishin B.M., Bikunova M.V., Koshev A.N., Malyutina T.V. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2021. № 1 (46). pp. 153-159.

9. Grishin B.M., Bikunova M.V., Koshev A.N., Shein A.I. Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo. 2020. №1. pp. 162-168.

10. Babenkov E.D. Khimiya i tekhnologiya vody. 1984. vol. 2 № 3. pp. 50-60.