УДК 628.16

© О. Н. Медведева, д-р техн. наук, профессор
© Е. В. Чеснокова, ассистент
(Саратовский государственный технический
университет имени Ю. А. Гагарина)
E-mail: medvedeva-on@mail.ru, adamas.elena@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-102-106

© O. N. Medvedeva, Dr. Sci. Tech., Professor
© E. V. Chesnokova, assistant lecturer
(Yuri Gagarin State Technical University of Saratov)
E-mail: medvedeva-on@mail.ru,
adamas.elena@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ПРИМЕСЕЙ

THE INFLUENCE OF PHYSICAL FIELDS ON THE PROCESS OF WATER PURIFICATION FROM IMPURITIES

Представлены результаты экспериментальных исследований воздействия физических полей на процесс очистки воды. Анализ полученных данных показывает, что при воздействии на коагулированную воду физических полей происходит ускорение процесса осаждения хлопьев в 3–6 раз. Предложенный подход в сравнении с применением добавок-утяжелителей позволяет интенсифицировать процесс коагуляции без ущерба окружающей среде.

Ключевые слова: мутность, коагуляция, осаждение, электрическое поле, электризация.

The paper presents the results of experimental studies of the physical fields' impact on the water treatment process. The analysis of the data obtained shows that the effect of physical fields on the coagulated water accelerates the floc deposition process by 3–6 times. The proposed approach in comparison with the use of additives-weighting agents allows intensifying the coagulation process without polluting the environment.

Keywords: turbidity, coagulation, precipitation, electric field, static-charge accumulation.

Для повышения эффективности процесса отстаивания в практике очистки природных вод традиционно применяется метод обработки воды коагулянтами и флокулянтами. Качество такого метода обработки напрямую зависит от температуры исходной воды: в холодное время года из-за низкой температуры воды процесс коагуляции протекает менее интенсивно. Коллоидные частицы плохо укрупняются и образуют мелкие, медленно оседающие хлопья, которые не полностью задерживаются в отстойниках, что влечет повышенную грязевую нагрузку на отстойники и снижение производительности фильтровальных установок. Результатом является ухудшение качества обработанной воды. Поэтому для интенсификации процесса хлопьеобразования возникает необходимость прибегать к дополнительным мерам, например,

повышению дозы коагулянта и проведению дополнительной обработки воды окислителями. Дополнительная обработка воды приводит к образованию вторичных загрязнений, которые вредны для окружающей среды и экологической обстановки в целом. Таким образом, несмотря на большую номенклатуру реагентов, их использование не всегда гарантирует успешное проведение процесса очистки.

В этой связи возникает необходимость разработки технических решений, направленных на интенсификацию процесса коагуляции путем применения экологически безопасных безреагентных технологий.

Как известно, мутность воды обусловлена наличием в ней мелкодисперсных примесей, которыми в основном являются гидрофобные или слабогидрофильные коллоидные частицы. Чем

больше размер частиц, тем легче они выделяются из воды в процессе отстаивания. При этом гидрофобные коллоидные частицы отталкивают воду. В свою очередь гидрофильные коллоидные частицы имеют органическую природу, реагируют с водой и, имея плотность, практически равную плотности воды, остаются во взвешенном состоянии длительное время. Преобладание в воде гидрофильных коллоидных частиц оказывает негативное влияние на процесс очистки воды. Гидрофильные коллоиды вступают в химическую реакцию с коагулянт, так как имеют в своем составе большое количество воды, что приводит к необходимости использования большего количества коагулянта. Такого не происходит при преобладании гидрофобных коллоидов.

Устойчивость коллоидной системы обуславливается величиной электростатических сил отталкивания частиц. На коллоидных частицах присутствует двойной электрический слой, в котором разность потенциалов является электрокинетическим потенциалом. Поскольку поверхность коллоидных частиц имеет отрицательный электрический заряд, частицы отталкиваются друг от друга, что препятствует их слипанию. Вместе с тем гидрофильные коллоидные частицы имеют более слабый электрический заряд. Коагулянт нейтрализует заряды и, перемешиваясь с обрабатываемой водой, обеспечивает слипание частиц с разными зарядами.

Для интенсификации процесса агломерации взвешенных частиц и ускорения процесса осаждения применяют различные химические и физические методы.

Интенсифицировать процесс очистки воды коагулированием можно путем наложения электрического поля. При применении электрического поля воду с небольшой дозой коагулянта пропускают между пластинчатыми электродами. За счет влияния электрического поля происходит ускорение процесса хлопьеобразования и осаждение взвешенных частиц.

Также для электризации взвешенных частиц возможно пропускать воду до введения коагулянта или воду с небольшой дозой коагулянта по полиэтиленовой трубке. Трение взвешенных частиц и хлопьев коагулянта о поверхность трубки обеспечивает электризацию взвешенных частиц,

что значительно ускоряет последующий процесс осаждения [1].

Также для интенсификации процессов осаждения возможно применение электрогидравлического эффекта. В результате высоковольтной обработки в воде происходит разряд с повышением давления в сотни раз, следствием которого является изменение многих ее показателей, в том числе химического состава воды (рН, окислительно-восстановительный потенциал), что приводит к изменению магнитной восприимчивости и поляризации за счет пространственной перегруппировки ионов. В результате электроимпульсной обработки воды ускоряется адсорбция мелкодисперсных частиц, происходит формирование крупных плотных хлопьев, которые под действием сил тяжести осаждаются с большей скоростью.

Известно влияние магнитной обработки воды, содержащей примеси, на свойства жидкости после обработки. Как сообщается в [2–4], растворение веществ в омагниченной воде происходит более интенсивно, жесткость, электропроводность и рН изменяются по сравнению с неомагниченной водой.

Действие магнитного поля способствует уменьшению структурно-механической гидратации находящихся в воде частиц, что приводит к уплотнению скоагулированной взвеси и увеличению ее гидравлической крупности [2–4].

Для интенсификации процесса коагуляции возможно применение магнитной обработки в различных вариантах: омагничивание воды в потоке за несколько секунд до ввода коагулянта, омагничивание самого коагулянта, омагничивание после смешения с коагулянт.

Омагничивание воды магнитным полем с напряженностью 2–8 кА/м позволяет увеличить гидравлическую крупность частиц и снизить в несколько раз концентрацию примесей в воде [5]. Омагничивание коагулянта приводит к уменьшению гидратации хлопьев из-за влияния напряженности магнитного поля на гидролиз. При этом чем больше напряженность поля, тем меньше степень гидратации ионов и больше их подвижность. Наибольший эффект омагничивания наблюдается при напряженности магнитного поля 180–212 кА/м [6].

Необходимо отметить, что несмотря на полученные положительные результаты, магнитная обработка воды для осаждения примесей характеризуется периодами повышенного интереса к этой технологии, сменяющимися периодами разочарований, связанными с противоречиями между теорией и практикой магнитной обработки воды [7–10].

Для оценки различных методов интенсификации процессов осаждения были проведены лабораторные эксперименты — без дополнительной обработки, с электризацией, путем комбинирования электризации с электростатическим полем. Исследования проводились с дозой коагулянта 12 мг/л по Al_2O_3 , время отстаивания составляло 30 мин.

Для обработки раствора коагулянта в электростатическом поле использовалось устройство, представляющее собой полиэтиленовую трубку, скрученную в спиральный змеевик (далее — устройство № 1). Таким образом, электризация происходила за счет трения о внутреннюю поверхность трубы. Для другой серии экспериментов применялось устройство № 2, в котором устройство № 1 дополнялось наложением электростатического поля за счет генератора высокого напряжения через обкладки конденсатора. При комбинированном способе обработки естественная электризация дополнялась наложением электростатического поля.

На рис. 1 представлены результаты экспериментов в виде кривых выпадения осадка при обычной коагуляции воды, после обработки электростатическим полем за счет трения в устройстве № 1 и при комбинации электрофизических полей в устройстве № 2.

Время завершения процесса выпадения осадка составило: при обычной коагуляции воды — 30,0 мин; при коагуляции воды в электростатическом поле в устройстве № 1 — 8–10 мин; при коагуляции в комбинированном электрофизическом поле в устройстве № 2 — 3–5 мин.

Как показывают результаты экспериментов, при воздействии на коагулированную воду физических полей происходит ускорение процесса осаждения хлопьев в 3–6 раз.

На основании исследований интенсификации процесса коагуляции с применением добавок-утяжелителей, приведенных автором в [11], время завершения процесса выпадения осадка при отстаивании воды после ее коагуляции с оптимальными дозами сернокислого алюминия составило: без добавок-утяжелителей — 30–40 мин; с добавлением кварцевого песка и микрокальцита — 4,5–5,0 мин; с добавлением магнетита и железного порошка — 1,0–1,5 мин.

Кривые кинетики осаждения взвеси при применении добавок-утяжелителей приведены на рис. 2.

Рис. 1. Кривые кинетики осаждения коагулированной взвеси: 1 — обычная коагуляция; 2 — коагулянт, обработанный в устройстве № 1; 3 — коагулянт, обработанный в устройстве № 2

Рис. 2. Кривые кинетики осаждения коагулированной взвеси: 1 — без добавок; 2 — с добавкой кварцевого песка; 3 — с добавкой железного порошка; 4 — с добавкой магнетита

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что применение добавок-утяжелителей для интенсификации процесса осаждения хлопьев ускоряет процесс очистки, которая происходит быстрее, чем при воздействии физических полей. Однако безреагентные технологии являются экологически чистыми и не наносят значительного ущерба окружающей среде, тогда как при утилизации отработанных реагентов добавок-утяжелителей оказывается негативное воздействие на окружающую среду, также добавки-утяжелители увеличивают грязевую нагрузку на отстойники и фильтры. Таким образом, интенсификация процесса коагуляции с помощью электрофизических полей является перспективным направлением повышения эффективности процесса очистки маломутных цветных вод.

Библиографический список

1. Пат. № 170333 Российская Федерация, МПК С 02 F 1/46. Устройство для интенсификации осаждения взвешенных частиц в жидкости / Калякин А. М., Чеснокова Е. В., Семенов А. П. Опубл. 21.04.2017, бюл. № 12.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: М.: Наука. 1982. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 496 с.

3. Мосин О. В. Магнитные аппараты для обработки воды // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2011. № 6 (114). С. 24–27.

4. Инюшин Н. В., Ишемгузин Е. И., Каиштанова Л. Е., Лаптев А. Б., Максимочкин В. И., Хайдаров Ф. Р., Шайдаков В. В. Аппараты для магнитной обработки жидкостей. Уфа: Реактив, 2000. 147 с.

5. Востров В. Н., Востров В. Н. Электротехнология в деревообработке. М.: Лесная промышленность, 1981. 192 с.

6. Воронцова Н. В., Шиблева Т. Г., Баранова А. В. Влияние магнитной обработки на кинетику гидролиза коагулянта при очистке природной воды // Вестник Тюмен. гос. ун-та. 2007. № 2. С. 164–167.

7. Очков В. Ф. Исследование процессов и разработка технологии магнитной обработки воды в теплоэнергетических установках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1979. 20 с.

8. Копылов А. С., Тебенихин Е. Ф. Об использовании магнитного поля для снижения накипеобразования // Труды МЭИ. 1976. Вып. 309. С. 55–60.

9. Martynova O. I., Kopylov A. S., Kashinsky V. I., Ochkov V. F. Efficiency of scale formation methods in Thermal Desalination Plants // Proceedings of 7th Intern. Symposium Flash Water from the Sea. 1980. Vol. 1. Pp. 399–405.

10. Очков В. Ф. Магнитная обработка воды: история и современное состояние // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 2. URL: http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/MO/art_EV/

11. Хуришьева И. В. Интенсификация процесса коагуляции при очистке маломутных цветных вод: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 188 с.

References

1. Kalyakin A. M., Chesnokova E. V., Semenov A. P. *Ustroystvo dlya intensifikatsii osazhdeniya vzveshennykh chastits v zhidkosti* [Device for intensification of deposition of particles suspended in liquid]. Patent RF, no. 170333, 2017.
2. Savel'ev I. V. *Kurs obshchey fiziki: T. 2. Ehlektrichestvo i magnetizm. Volny. Optika* [Course of general physics: Vol. 2. Electricity and magnetism. Waves. Optics]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 496 p.
3. Mosin O. V. *Magnitnye apparaty dlya obrabotki vody* [Magnetic devices for water treatment]. *Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie – Plumbing. Heating. Air-Conditioning*, 2011, no. 6(114), pp. 24–27.
4. Inyushin N. V., et al. *Apparaty dlya magnitnoy obrabotki zhidkostey* [Devices for magnetic treatment of liquids]. Ufa, Reaktiv Publ., 2000, 147 p.
5. Vostrov V. N., Vostrov V. N. *Ehlektrotekhnologiya v derevoobrabotke* [Electric technologies in woodworking]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1981, 192 p.
6. Vorontsova N. V., Shibleva T. G., Baranova A. V. *Vliyanie magnitnoy obrabotki na kinetiku gidroliza koagulyanta pri oчитке prirodnoy vody* [Influence of magnetic treatment on the kinetics of the coagulant hydrolysis at the purification of natural water]. *Vestnik Tyumen. gos. un-ta – Bulletin of Tyumen State University*, 2007, no. 2, pp. 164–167.
7. Ochkov V. F. *Issledovanie protsessov i razrabotka tekhnologii magnitnoy obrabotki vody v teploehnergeticheskikh ustanovkakh. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Research of processes and development of technology of magnetic water treatment in thermal power plants. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, MEI Publ., 1979, 20 p.
8. Kopylov A. S., Tebenikhin E. F. *Ob ispol'zovanii magnitnogo polya dlya snizheniya nakipeobrazovaniya* [About using magnetic field to reduce scale formation]. *Trudy MEI – Bulletin of MEI*, 1976, iss. 309, pp. 55–60.
9. Martynova O. I., Kopylov A. S., Kashinsky V. I., Ochkov V. F. *Efficiency of scale formation methods in thermal desalination plants*. Proc. of 7-th Int. Symposium "Flash Water from the Sea". 1980, vol. 1, pp. 399–405.
10. Ochkov V. F. *Magnitnaya obrabotka vody: istoriya i sovremennoe sostoyanie* [Magnetic water treatment: history and current state]. *Ehnergoberezhenie i vodopodgotovka – Energy saving and water treatment*, 2006, no. 2. Available at: http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/MO/art_EV/
11. Khirshieva I. V. *Intensifikatsiya protsessa koagulyatsii pri oчитке malomutnykh tsvetnykh vod. Diss. kand. tekhn. nauk* [Intensification of the coagulation process at purification of low turbid and colored water. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2014, 188 p.