

## Снижение концентраций сульфида железа и взвешенных веществ в сточных водах на предприятиях агропромышленного комплекса РФ

*Е.В. Левин, к.ф.-м.н., Р.Ф. Сагитов, к.т.н., ООО «НИПИЭП»; В.Д. Баширов, д.с.-х.н., В.Е. Дудоров, к.с.-х.н., В.А. Солопова, к.т.н., С.П. Василевская, к.т.н., Р.Н. Касимов, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ*

В сельском хозяйстве сточные воды образуются на животноводческих и птицеводческих комплексах. Эти воды содержат большое количество органических загрязняющих веществ, концентрация которых доходит до 10 тыс. мг/дм<sup>3</sup>, азота — до 1,5 г/дм<sup>3</sup>, фосфора — до 10 г/дм<sup>3</sup>. На птицеводческих комплексах сточные воды образуются только при использовании технологии гидросмыва, которая в настоящее время практически не применяется. Основной проблемой является образование поднавозных стоков и птичьего помёта в больших объёмах. Птичий помёт (как клеточный, так и подстилочный), не приводящий к образованию сточных вод при хранении, вывозится на полигоны. В поверхностных и подземных водах, находящихся вблизи животноводческих и птицеводческих комплексов, отмечается наличие нитратов, солей, других вредных элементов, высокая бактериальная обсеменённость, в том числе и патогенными микроорганизмами.

**Материал и методы исследования.** В настоящее время актуальным является снижение в воде примесей сульфидов железа на предприятиях очистки сточных вод агропромышленного комплекса путём применения различных устройств, позволяющих это сделать с различным эффектом. ООО «НИПИЭП» предлагает способ очистки с использованием электромагнитных фильтров с наполнителем из ферро-магнитных шаров.

Наиболее прогрессивным, экономически и экологически оправданным методом очистки от продуктов коррозии воды сульфидов железа, с нашей точки зрения, мог оказаться метод обезжелезивания воды разработанным и изготовленным нами электромагнитным фильтром с наполнителем из ферро-магнитных шаров (рис. 1).

Работа фильтра основана на магнитостатическом взаимодействии ферро-магнитных примесей с шаровой загрузкой фильтра, через которую пропускают очищаемую воду. При движении через намагниченную шаровую загрузку частицы сульфида железа втягиваются в область максимального градиента магнитного потока.

В силу геометрических особенностей наибольшее значение градиента магнитного поля будет в точках соприкосновения шариков вдоль оси фильтра. Именно сюда будут стремиться собираться ферро-магнитные примеси под действием силы  $P_m$ . Однако за счёт движения воды на каждую

частицу будет действовать механическая сила гидродинамического напора воды  $P_d$ . Если допустить, что частицы ферро-магнитных примесей имеют шарообразную форму, то её можно рассчитать по формуле Стокса:

$$F_{дл.} = 6\pi\eta vr,$$

где  $\eta$  — коэффициент вязкости среды;

$r$  — радиус частицы;

$v$  — скорость движения потока.

Для обеспечения надёжной работы фильтра необходимо, чтобы магнитная сила фильтра по порядку величины была больше, чем сила Стокса. Значение магнитной силы при прочих равных условиях тем больше, чем больше магнитная восприимчивость единицы массы примеси. Магнитная восприимчивость образца определяется не только химическим составом, но также является структурно чувствительным параметром, зависит от наличия механических напряжений, текстуры, различного вида химических и физических неоднородностей и т.д. [1–9].

Специалистами ООО «НИПИЭП» совместно с лабораторией НГДУ «Богатовскнефть» были проведены полевые испытания электромагнитного фильтра (ЭМФ) на базе одного из животноводческих комплексов Самарской области. Корпус ЭМФ выполнен из неферромагнитной стали 1X18Н9Т. Фильтр монтировался в горизонтальном положении. Врезка магнитного фильтра была произведена в систему очистных сооружений (схема подключения на рис. 2). Вода из резервуара подавалась в ра-



Рис. 1 – Электромагнитный фильтр с наполнителем из ферромагнитных шаров

Эффективность работы электромагнитного фильтра ООО «НИПИЭП»  
по данным лаборатории НГУ «Богатовскнефть» [1–5]

№ пробы	Концентрация сульфидов в воде перед ЭМФ, мг/л	Концентрация сульфидов в воде после ЭМФ, мг/л	Эффективность очистки, %
1	16,0	4,0	75,0
2	16,0	4,3	73,13
3	16,0	4,0	75,0
4	16,0	4,7	70,63
5	16,0	4,4	72,5
6	16,0	4,3	73,13
7	6,75	0,79	88,3
8	6,75	1,4	79,3
9	6,75	0,63	90,67
10	6,75	1,57	76,74

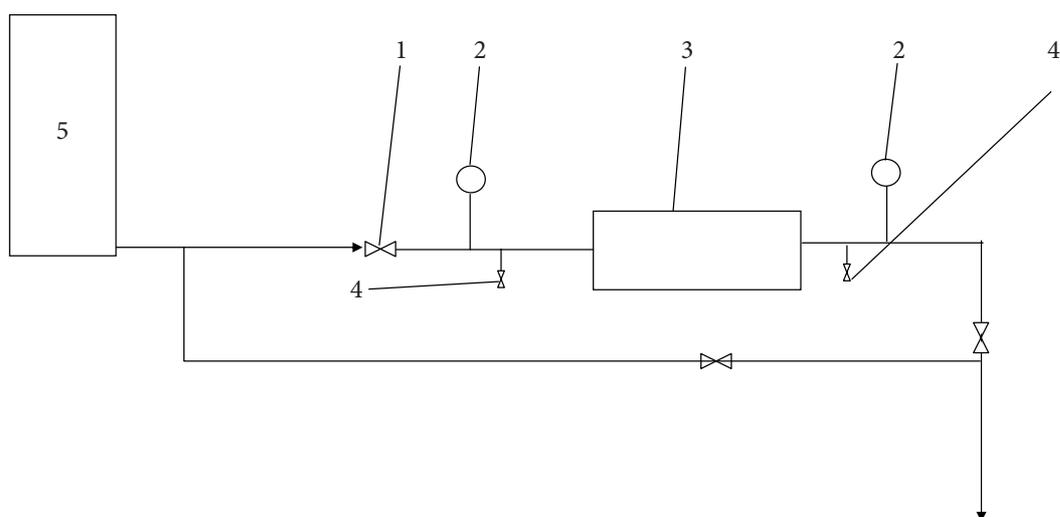


Рис. 2 – Принципиальная схема установки для отработки режима очистки воды от сульфидов железа:

1 – задвижка ДУ 80 мм; 2 – манометр  $P_{max}$ ; 3 – магнитный фильтр (50 Гц, 220 В, 3 А); 4 – кран ДУ 15 мм; 5 – РВС-9

бочую камеру с шаровой загрузкой и после фильтра сбрасывалась в канализацию. Магнитное состояние рабочего вещества, которое состояло из шариков диаметром 7–8 мм из шарикоподшипниковой стали ШХ-15, изменялось катушкой, надетой на рабочую камеру. Электропитание катушки осуществлялось от сети переменного тока и регулировалось реостатом. Для регулирования потока воды через фильтр на его входе и выходе поставлены два вентильных крана. Давление воды на входе и выходе фильтра контролировалось манометрами для определения степени загрязнения фильтра.

В течение двух дней были отобраны и проанализированы пробы воды на входе и выходе ЭМФ с разным наложенным электрическим потенциалом.

**Результаты исследования.** По результатам эксперимента видно, что в пределах заданных потенциалов эффективность ЭМФ при колебаниях концентрации сульфида железа от 6,75 до 16,0 мг/л составляла 77,92%. Результаты анализа представлены в таблице.

Высокая эффективность очистки, по данным эксперимента, предполагает возможность разработки и установки промышленного фильтра для удаления сульфидов железа из воды [1–9].

Магнитная обработка воды не только способствует удалению магнитоактивных примесей, но и приводит к активации воды на молекулярном уровне. Выпадение в осадок различных солей и окислов из водных растворов, используемых в теплоэнергетике в качестве рабочей жидкости, и закрепление его на стенках узлов и деталей котлов, теплообменников, теплопроводов, лопастей турбин и др. – бич многих важных промышленных процессов. Так как теплопроводность накипи мала, то в зависимости от её толщины и состава тепловые режимы теплоагрегатов ухудшаются, что приводит к возрастанию расхода топлива, перегреванию и деформации металла, что значительно снижает их эксплуатационно-технические характеристики, а зачастую приводит к тяжёлым авариям.

Борьбу с накипью осуществляют в основном двумя способами: удалением накипеобразователей до поступления воды в теплоагрегаты (предварительная обработка воды методами химико-технической очистки, обработка в ионно-обменных фильтрах и др.) и созданием в них специальных условий, при которых образуется шлам (внутрикотловая обработка, заключающаяся в дополнительной присадке в котлы некоторых химических реагентов,

например фосфатов). Выделяющийся при этом шлам непрерывно или периодически сбрасывают, что и позволяет в большей или меньшей степени избегать вредных последствий образования накипи. При этом суточный расход химикатов (в частности, поваренной соли) на крупных котельных достигает сотен килограммов. Отсюда весьма ощутимая нагрузка на экологическую обстановку.

Наряду с этими достаточно дорогостоящими и не очень благополучными с точки зрения экологии способами выяснилась возможность применения для перевода накипеобразователей в шлам безреагентной обработки рабочей жидкости теплоагрегатов с помощью различных физических полей. Из этих физических методов обработки воды наибольшее распространение получил метод магнитной обработки, как наиболее доступный, простой, экономичный и безукоризненно экологически чистый. Магнитная обработка воды практически не уменьшает её жесткость, но при достижении оптимальной её активации в воде происходят такие изменения, в силу которых при её нагревании или кипячении вместо твёрдой накипи на стенках теплоагрегатов в самой массе воды образуется подвижный осадок – шлам, собирая который в шламосборниках можно безболезненно для работы теплоагрегата удалять его, даже не нарушая рабочих режимов.

Известно, что одним из основных механизмов, ответственных за противонакипный эффект при магнитной обработке воды, считается возникновение при этом большого количества центров кристаллизации, которые и обуславливают выпадение солей жёсткости не на стенках, узлах и деталях устройств теплоэнергетики, а в самой массе воды. Явление это ни теоретического, ни строгого экспериментального доказательства к настоящему времени не имеет. Разработан оригинальный способ борьбы с накипью. В основе метода лежит известный факт, заключающийся в том, что при наличии в воде достаточно большого количества зародышей твёрдой фазы, выполняющих роль центров кристаллизации, соли жёсткости при нагревании воды или совсем не выделяются из неё, поскольку рост кристаллов останавливается на стадии микрокристаллизации, или выделяются в виде мелкодисперсного шлама, не оседающего на стенках теплоагрегатов. Роль таких центров кристаллизации могут выполнять ионы металлов, имеющих электронное сродство с ионами солей жёсткости, выделяющихся из электродов при электролизе. Вторичными эффектами являются уменьшение коэффициента вязкости воды, уменьшение коэффициента поверхностного натяжения и интенсификации процессов коагуляции взвешенных частиц, что также приводит к

облегчению удаления из воды шлама, содержащего соли накипи. Значение насыщенности зарядом прошедшей между электродами воды, необходимое и достаточное для получения противонакипного эффекта, нами установлено чисто экспериментально. Большая насыщенность зарядом увеличивает противонакипный эффект. Верхняя граница плотности насыщения зарядом ограничивается только экономическими соображениями.

Разработан аппарат, в котором высокая эффективность и независимость от колебаний рабочих режимов обрабатываемой магистрали определяются тем, что за один проход по аппарату вода обрабатывается целым набором магнитотропных параметров. Кроме того, при настройке аппарата имеется возможность регулировки четырёх магнитотропных параметров [1, 2, 4–6].

Разработан метод создания избыточного количества центров кристаллизации в рабочей воде агрегатов теплоэнергетики за счёт её насыщения при электролизе ионами металлов, имеющих электронное сродство с солями жёсткости воды. Экспериментально определены значения необходимого и достаточного значения насыщенности воды зарядом, при котором обеспечивается безнакипный режим работы теплоагрегатов. Установлено, что вновь приобретённые после электроактивации свойства вода сохраняет более 10 суток. Способ аналогов не имеет.

### Литература

1. Комплексы очистки сточных вод блочно-аппаратного типа ТУ 4859-002-51008612-2014.
2. Комплексы очистки сточных вод моноблочного типа ТУ 4859-001-51008612-2014.
3. Баширов В.Д. Экономическая эффективность внедрения нового технологического объекта / В.Д. Баширов, М.Г. Барышников, М.З. Гулак, Р.Ф. Сагитов // Экономика и предпринимательство. 2013. № 10 (39). С. 521–523.
4. Левин Е.В. Аппаратный тип технологического процесса при очистке сточных вод / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, А.Д. Буракаева, С.В. Шабанова // Экология и промышленность России. 2015. № 2. С. 8–12.
5. Левин Е.В. Решение проблемы очистки сточных вод при использовании аппаратного типа технологического процесса / Е.В. Левин, С.В. Шабанова, Р.Ф. Сагитов, В.А. Солопова, И.Д. Алямов // Известия Оренбургского государственного университета. 2015. № 1 (51). С. 55–57.
6. Сагитов Р.Ф. Электрофизический способ очистки сточных вод дрожжевых и хлебопекарных предприятий / Р.Ф. Сагитов, В.Г. Коротков, А.В. Быков, В.П. Попов, Л.В. Межуева // Экология и промышленность России. 2017. № 9. С. 48–52.
7. Левин Е.В. Оценка воздействия помётохранилища бывшей птицефабрики «Снежная» в Мурманской области на атмосферный воздух и почву / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, Т.А. Гамм, В.Д. Баширов, Р.Н. Касимов, С.П. Василевская, Е.В. Волошин // Известия Оренбургского государственного университета. 2017. № 2 (64). С. 193–196.
8. Левин Е.В. Воздействие помётохранилища бывшей птицефабрики «Снежная» Мурманской области на поверхностные воды / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, Т.А. Гамм, В.Д. Баширов, Р.Н. Касимов, С.П. Василевская, Е.В. Волошин, А.Д. Буракаева // Известия Оренбургского государственного университета. 2017. № 3 (65). С. 210–212.
9. Левин Е.В. Экологическое обоснование ликвидации помётохранилища на основе результатов инженерно-экологических изысканий / Е.В. Левин, Т.А. Гамм, Р.Ф. Сагитов, С.В. Шабанова. М., 2016.