DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-1-44-51

УДК 622.276.43

М.Я. Хабибуллин (Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском, г. Октябрьский, Республика Башкортостан)

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НЕСТАЦИОНАРНОМ ЗАВОДНЕНИИ

M.Ya. Khabibullin (Oktyabrskiy Affiliate of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrskiy, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

IMPROVED SEWAGE TREATMENT SYSTEM AT THE PULSED NON-STATIONARY WATERFLOODING

Введение

С целью поддержания пластового давления для закачки в нагнетательные скважины преимущественно используется сточная вода, которая добывается вместе с углеводородной жидкостью. После отделения ее от нефти на установках комплексной подготовки нефти возникает необходимость ее качественной очистки перед закачкой в пласт.

Цели и задачи

На основе анализа существующих систем очистки сточных вод перед их закачкой в нагнетательные скважины разработать усовершенствованную схему, не требующую значительных материальных вложений для ее внедрения.

Результаты

Применение разработанной универсальной системы очистки сточных вод позволяет сократить занимаемые площади путем объединения различных систем очистки в одну, повысить качество очистки, получить дополнительно источники оборотного водоснабжения для технического использования и обеспечить требуемый объем воды для импульсного нестационарного заводнения.

Background

In order to maintain reservoir pressure for injection into the wells, it is preferable to use wastewater that is produced together with the hydrocarbon liquid. After separating it from oil in integrated oil treatment plants, it becomes necessary to clean it before injection into the reservoir.

Aims and Objectives

Based on the analysis of existing wastewater treatment systems before their injection into wells, develop an improved application scheme that does not require significant material investments for its implementation.

Results

The application of the sewage treatment system will reduce the occupied areas of the purification system by combining them into one, improve the quality of treatment, obtain additional sources of recycled water for technical use and provide the required volume of water for pulsed non-stationary water flooding.

Ключевые слова: система очистки сточных вод, нестационарное заводнение, флокулянты, коагулянты, осадок, фильтры

Key words: sewage treatment system, non-stationary waterflooding, flocculants, coagulants, sediment, filters

В нашей стране постоянно ведутся работы по сокращению потребления пресной воды для закачки в нагнетательные скважины с целью поддержания пластового давления. В подавляющем большинстве для этого используется сточная вода, которая добывается вместе с углеводородной жидкостью. После отделения ее от нефти на установках комплексной подготовки нефти возникает необходимость ее качественной очистки перед закачкой в пласт [1-3]. Существует большое разнообразие схем очистки, но не все они обеспечивают требуемые параметры [4-6], в результате происходит загрязнение призабойной зоны нагнетательных скважин, а также снижается долговечность работы устьевых и забойных устройств для импульсного нестационарного заводнения.

В результате проведенного анализа существующих систем очистки сточных вод перед их закачкой в нагнетательные скважины разработана совершенная схема применения, причем в проектом варианте и не требующая значительных материальных вложений для ее осуществления на практике. Предлагаемая схема по очистке сточных вод, представленная на рисунке 1, обеспечивает требуемую степень очистки вод от механических примесей и нефтепродуктов. Кроме того, данная схема позволяет попутно очищать дренажные, дождевые и производственные сточные воды. Последовательность проводимых действий на данной установке заключается в следующем. Сточная очищаемая вода поступает через электрифицированную решетку 9 в регулирующий резервуар 10, откуда насосами 2 подается в напорные гидроциклоны 6. Здесь сточная вода освобождается от крупных и средних механических частиц и далее поступает во вторую ступень очистки, в частности в тонкослойную нефтеловушку 7, в

которую для интенсификации осаждения взвешенных частиц вводятся коагулянт (сернокислый алюминий) и флокулянт (полиакриламид). Пройдя нефтеловушку, сточная вода поступает в водозаборную камеру, откуда насосами подается на сверхскоростные напорные фильтры 12 (первую ступень очистки).

После фильтров вода под остаточным напором поступает во вторую ступень очистки – в фильтры сверхскоростные 13 с плавающей полистирольной загрузкой. Очищенная вода сливается в резервуар 14, из которого насосами подается на накопительные резервуары перед подачей их на кустовые насосные станции.

В целях ликвидации водорослей, микроорганизмов, грибков и других образований в очищенную воду вводят медный купорос, хлор или серную кислоту.

Осадок после гидроциклонов поступает в сборный бункер, из которого периодически выгружается и вывозится. Осадок из нефтеловушки откачивается насосами на автоматический камерный напорный фильтр-пресс 11. Обезвоженный осадок (влажностью 60-70 %) поступает в приемный бункер, из которого периодически выгружается и вывозится. Места вывоза согласуются с контролирующими органами по утилизации промышленных отходов.

Получаемый на фильтрах-прессах фильтрат возвращается в приемные регулирующие резервуары. Собранные и задержанные в тонкослойной нефтеловушке масла собираются в специальную емкость 8 и используются в качестве топлива или регенерируются. Растворы реагентов, флокулянтов и коагулянтов готовятся в баках, откуда самотеком поступают в расходные баки и далее через дозаторы подаются насосами в поступающую на очистку сточную воду.

1 - баки для получения полиакриламида; 2 - насосы; 3 - дозирочные баки полиакриламида; 4, 5 - соответственно растворимый и расходный баки глинозема; 6 - напорные гидроциклоны; 7 - тонкослойная нефтеловушка; 8 - нефтесборный коллектор; 9 - электрифицированная решетка; 10 - регулирующий резервуар; 11 - фильтр-пресс; 12, 19 - сверхскоростные соответственно антрацито-кварцевые и напорные с плавающей полистирольной загрузкой фильтры; 14 - резервуар очищенной воды; 15 - растворо-расходный бак поваренной соли; 16 - графитовый электролизер; 17 - бак-накопитель гидрохлорида натрия; 18 - вертикальный аппарат для серной кислоты; 19 - мерник серной кислоты; 20 - вертикальный аппарат для медного купороса; 21, 22 - резервуары соответственно охлажденной и нагретой воды; 23 - трехсекционная градирня
I - от потребителя, II - к потребителю, III - на вывод

Рисунок 1. Схема системы очистки сточных вод

Сооружение по очистке сточных вод можно разместить в одноэтажном здании совместно с установкой подготовки нефти [7-9]. Причем с помощью одной установки по очистке сточных вод можно снабжать всю систему поддержания пластового давления нефтегазодобывающего управления при импульсном нестационарном заводнении.

Схема для очистки сточной воды характеризуется следующими техническими данными:

- производительность 74000-92000 м³/сут;
- усредненная (исходная) концентрация
 - взвешенных веществ 300-1000 мг/л,
 - нефтепродуктов 40-60 мг/л;
- остаточное содержание в очищенной воде
 - нефтепродуктов не более 1,5 мг/л,
 - взвешенных частиц 2-3 мг/л;
- количество осадка не более 2500 кг/сут.

Размеры здания по предварительному проекту могут составлять 36 х 54 м, а высота до потолка 7,2 м.

В подвале здания, представляющем собой опускной колодец диаметром 40 м и глубиной 9,6 м, размещены электрифицированная решетка, регулирующие резервуары очищенных вод и насосная станция, в которой установлены насосы систем обратного во-

доснабжения и очистки производственных и дождевых стоков.

В регулирующие резервуары для предотвращения зарастания их илом специальной группой насосов через систему дырчатых трубопроводов постоянно подается вода. Работа насосной станции полностью автоматизирована. Насосы включаются в работу в зависимости от уровня воды в резервуарах. В качестве первой ступени очистки вместо традиционных песколовков применены 5 напорных гидроциклонов производительностью 85-105 м³/ч.

Данное техническое решение позволяет отказаться от громоздких песколовков, высвободить значительную площадь и разместить гидроциклоны на первом этаже блока очистных сооружений. Там же размещается тонкослойная нефтеловушка 7.

Тонкослойная нефтеловушка 7 (рисунок 2) представляет собой блок из сооружений различного назначения.

Ершовый смеситель вертикального типа представляет собой камеру с 25 наклонно расположенными полками.

В камеру смешения для интенсификации осаждения механических частиц подаются коагулянт (сернокислый алюминий) и флокулянт (полиакриламид) [10-12].

- а* - резервуар для осадка; *б* - камера смешения (ершовый смеситель вертикального типа);
в - камера хлопьеобразования механического типа;
г - успокоительная решетка и сборник нефтепродуктов;
д - водозаборная камера

Рисунок 2. Схема тонкослойной нефтеловушки

Доза коагулянта - 80 мг/л (по активному продукту). Раствор сернокислого алюминия (10 %) готовится в баках-хранилищах, откуда периодически с помощью поплавка поступает в расходные баки, из которых насосами-дозаторами подается в вертикальный ершовый смеситель нефтеловушки. Доза флокулянта (полиакриламида) - 0,5 мг/л (по чистому продукту). Раствор полиакриламида (0,5 %) готовится на установке с лопастной мешалкой и насосами подается в 2 расходных бака и далее в ершовый смеситель нефтеловушки.

Смешанная с реагентами сточная вода через пропорциональное водораспределительное устройство поступает в камеру хлопьеобразования, рассчитанную на продолжительность процесса флокуляции (15 мин). Камера оборудована восьмилопастной мешалкой на вертикальной оси (радиусы вращения 4-х наружных лопастей - 1,45 м, 4-х внутренних - 0,85 м, высота лопастей - 1,5 м, ширина - 0,1 м, частота вращения - 4 мин⁻¹). По окончании хлопьеобразования вода через успокоительную решетку поступает в две секции тонкослойной полочной нефтеловушки, которая работает следующим образом: исходная сточная вода по подающей трубе поступает в водораспределительную трубу и равномерно распределяется по ширине секции, затем поступает в пропорциональное водораспределительное устройство, откуда выходит равномерно распределенной по живому сечению секции.

Равномерно распределенный поток поступает в тонкослойное полочное пространство, где из стоков выделяются всплывшие и осаждаемые взвешенные вещества. Тонкослойное полочное пространство образовано полочными блоками, для изготовления которых могут быть применены листовая сталь с соответствующим защитным покрытием или листовые пластики (полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен и т.д.), стойкие в данных сточных водах. Расчетная скорость потока сточных вод через ярусы тонкослойной загрузки - 9,5 мм/с, расчетное время пребывания

стоков в ярусах - 667 с. Длина тонкослойного пространства - 8,24 м. Применение тонкослойной нефтеловушки взамен типовой позволило значительно (на 30-40 %) сократить занимаемые рабочие площади. Полученный осадок после очистки вод удаляется из камер тонкослойной нефтеловушки в резервуар с помощью гидроэлеватора.

На первой и второй ступенях очистки применяются серийно изготавливаемые катионитовые фильтры. В качестве первой ступени очистки применяются антрацитокварцевые фильтры. Фильтрующая загрузка этих фильтров состоит из двух слоев: верхнего (высотой 1,1 м) - антрацит (размер зерен 3-6 мм) и нижнего (высотой 1,1 м) - кварцевый песок (размер зерен 1,6-2,2 мм). Скорость фильтрования составляет 30-50 м/ч. Промывка фильтра проводится в два этапа. На первом этапе осуществляется водовоздушная промывка продолжительностью 15 мин (воздух подается с интенсивностью до 70 м³/(м²·ч), а вода 40-50 м³/(м²·ч)), на втором этапе производится промывка водой продолжительностью 5 мин с интенсивностью 50 м³/(м²·ч) (периодичность промывки 12-48 ч). Кроме того, периодически, один раз в неделю, проводится промывка водой с интенсивностью 110-120 м³/(м²·ч) продолжительностью 3-10 мин (для расширения загрузки и распределения песка и антрацита). Промывка осуществляется под действием перепада давления в камерах фильтрата. Жидкость проходит противотоком фильтрации снизу вверх через слои зернистых загрузок, вымывая задержанные механические примеси. Кроме того, эффективность регенерации обеспечивается импульсной обратной промывкой.

Фильтры с плавающей фильтрующей загрузкой используются в качестве второй ступени очистки (для глубокой доочистки от масел и взвешенных веществ). В качестве фильтрующей загрузки используются вспененные гранулы суспензионного полистирола (размер зерен 2-5 мм, плотность

150-600 кг/м³). Вода подается в фильтры на очистку (скорость фильтрования 30-60 м/ч) снизу вверх, а на промывку - сверху вниз (интенсивность промывки 30 л/(м²·с), продолжительность 15-20 мин, периодичность 12-24 ч). Периодически проводится генеральная промывка всей загрузки в промывателе. Подача загрязненной загрузки в промыватель и обратно осуществляется гидротранспортом.

Эффект очистки от масел 60 %, от взвешенных веществ - 70-80 %. Остаточное содержание взвешенных веществ после фильтров второй ступени не превышает 2-3 мг/л, нефтепродуктов - 1-1,5 мг/л.

Общий объем вывозимого осадка (60 % влажности) составляет 7000 кг/сут. После фильтров вода поступает в резервуар очищенных вод, откуда насосами подается на нужды водоснабжения предприятия. В целях предупреждения бактериального биологического обрастания аппаратов и трубопроводов системы повторного использования очищенной воды предусмотрена обработка воды хлором и медным купоросом, а для предупреждения карбонатных отложений - серной кислотой. Дозы реагентов, продолжительность обработки принимаются приблизительно такими же, как и для системы оборотного водоснабжения: хлор - 5-10 мг/л, медный купорос - 1-2 мг/л, серная кислота - 71,4 мг/л (считая по товарному продукту). Окончательно доза реагентов, продолжительность обработки будут уточнены в процессе эксплуатации системы.

В блоке очистных сооружений размещены и сооружения оборотного водоснабжения производительностью до 2000 м³/ч: градирни 23; насосные станции - 2; резервуар охлажденной воды 21; склад реагентов и реа-

гентное хозяйство 15-19. Нагретая вода после контакта с охлаждаемым оборудованием поступает в резервуар 22, который находится в опускной части блока сооружений, откуда насосами подается на градирни 23, размещаемые на кровле. С градирен охлажденная вода самотеком поступает в резервуар 21, размещенный в отпускной части блока сооружений, из которого насосами подается к потребителю. Для охлаждения 2000 м³/ч нагретой воды на кровле здания установлено 7 трехсекционных градирен (площадь одной секции 16 м²), оборудованных вентиляторами.

В состав реагентного хозяйства входят склады поваренной соли 15-17, серной кислоты 18-19 и медного купороса 20. Гипохлорид натрия для обработки оборотной воды получается из поваренной соли путем ее разложения в электролизере 16 по типовой схеме.

В случае, если отсутствует необходимость в использовании оборотного водоснабжения для производственных целей, то можно сократить использование дополнительных коммуникаций, представленных в схеме, без ущерба для проведения основного непрерывного процесса очистки сточных вод для импульсного нестационарного заводнения.

Выводы

Применение разработанной универсальной системы очистки сточных вод позволяет сократить занимаемые площади путем объединения различных систем очистки в одну, повысить качество очистки, получить дополнительно источники оборотного водоснабжения для технического использования и обеспечить требуемый объем воды для импульсного нестационарного заводнения.

Список литературы

1. Пат. 2198288 РФ, МПК 7 Е 21 В 43/20. Способ закачки жидкости в нагнетательные скважины и устройство для его осуществления /

References

1. Sultanov B.Z., Tukhteev R.M., Khabibullin M.Ya., Tuigunov M.R. *Sposob zakachki zhidkosti v nagnetatel'nye skvazhiny i ustroystvo dlya*

Б.З. Султанов, Р.М. Тухтеев, М.Я. Хабибуллин, М.Р. Туйгунов (РФ). 99121394/03; заявл. 12.10.1999; опубл. 10.02.2003. Бюл. 4.

2. Пат. 2241825 РФ, МПК 7 Е 21 В 43/18. Устройство для закачки жидкости / Г.Г. Гилаев, Р.М. Тухтеев, М.Я. Хабибуллин, Р.А. Ибраев (РФ). 2003104370/03; заявл. 13.02.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. 34.

3. Хабибуллин М.Я. Разработка устройства для нестационарного импульсного заводнения // Современные технологии в нефтегазовом деле - 2017: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Октябрьский, 25 марта 2017 г.) / Отв. ред. В.Ш. Мухаметшин. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. С. 421-427.

4. Пашаян А.А., Нестеров А.В. Анализ существующих методов очистки нефтесодержащих сточных вод // Вклад ученых и специалистов в национальную экономику: матер. Регион. науч.-техн. конф. / Брянск. гос. инженер.-технол. акад. Брянск, 2005. Т. 2. С. 74-77.

5. Ильясова К.У., Алпысбаева А.Б. Очистка сточных вод от нефтепродуктов // Вестник науки и образования. 2015. № 1 (3). С. 5-6.

6. Яблокова М.А., Петров С.И. Комплексная технология очистки сточных вод от масло-нефтепродуктов // Химическая промышленность. 2003. Т. 80. № 11. С. 54.

7. Карпухина Л.А. Проектные решения по строительству сооружений обеззараживания сточных вод // Экология и промышленность России. 2013. № 6. С. 42-46.

8. Зубарева Г.И., Черникова М.Н. Технологические схемы глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод с применением метода напорной флотации // Экология и промышленность России. 2011. № 10. С. 15-17.

9. Лыков О.П., Толстых Л.И., Низова С.А. Интенсификация очистки сточных вод нефтепереразочных баз с применением флокулянтов и коагулянтов // Известия Академии промышленной экологии. 2005. № 1. С. 20-24.

10. Ермакова Е.Ю., Коротков Ю.Ф., Николаев Н.А. Очистка загрязненных вод безнапорной флотацией // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 1. С. 41-42.

11. Панова И.М., Нойберт И. Флотационная очистка сточных вод, загрязненных нефтепродуктами // Экология производства. 2011. № 10. С. 70-72.

12. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. Л.: Химия, 1987. 202 с.

ego osushchestvleniya [A Method of Pumping Liquid into Injection Wells and a Device for its Implementation]. Patent RF, No. 2198288, 2003. (in Russ.).

2. Gilayev G.G., Tukhteev R.M., Khabibullin M.Ya., Ibraev R.A. *Ustroistvo dlya zakachki zhidkosti* [A Device for Injecting Liquid]. Patent RF, No. 2241825, 2004. (in Russ.).

3. Khabibullin M.Ya. *Razrabotka ustroistva dlya nestatsionarnogo impul'snogo zavodneniya* [Development of the Device for Non-Stationary Impulse Flooding]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele - 2017»*. [Collection of Works of the International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in Oil and Gas Business - 2017» (October, March 25, 2017)]. Ufa, UGNTU Publ., 2017, pp. 421-427. (in Russ.).

4. Pashayan A.A., Nesterov A.V. *Analiz sushchestvuyushchikh metodov ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod* [Analysis of Existing Methods for Cleaning Oily Wastewater]. *Materialy Regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Vklad uchenykh i spetsialistov v natsional'nuyu ekonomiku»* [Materials of Regional Scientific-Technical Conference «Contribution of Scientists and Specialists in the National Economics»]. Bryansk State Engineering Technological Academy. Bryansk, 2005, T. 2, pp. 74-77. (in Russ.).

5. Il'iasova K.U., Alpysbaeva A.B. *Ochistka stochnykh vod ot nefteproduktov* [Wastewater Purification from Oil Products]. *Vestnik nauki i obrazovaniya - Herald of Science and Education*, 2015, No. 1 (3), pp. 5-6. (in Russ.).

6. Yablokova M.A., Petrov S.I. *Kompleksnaya tekhnologiya ochistki stochnykh vod ot maslo-nefteproduktov* [Complex Technology of Wastewater Treatment of Oil and Oil Products]. *Khimicheskaya promyshlennost' - Chemical Industry*, 2003, T. 80, No. 1, pp. 54 (in Russ.).

7. Karpuhina L.A. *Proektnye resheniya po stroitel'stvu sooruzhenii obezzarazhivaniya stochnykh vod* [Design Solutions for the Construction of Sewage Disinfection Facilities]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii - Ecology and Industry of Russia*, 2013, No 6, pp. 42-46. (in Russ.).

8. Zubareva G.I., Chernikova M.N. *Tekhnologicheskie skhemy glubokoi ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod s primeneniem metoda napornoi flotatsii* [Technological Schemes for Deep Purification of Oily Wastewater with the Use of the Pressure Flotation Method]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii - Ecology and Industry of Russia*, 2011, No. 10, pp. 15-17. (in Russ.).

9. Lykov O.P., Tolstykh L.I., Nizova S.A. *Intensifikatsiya ochistki stochnykh vod nefteperevalochnykh baz s primeneniem flokulyantov i koagulyantov* [Intensification of Wastewater Treatment of Oil Transshipment Bases Using Flocculants and Coagulants]. *Izvestiya Akademii promyshlennoy ekologii - Proceedings of the Academy of Industrial Ecology*, 2005. No. 1, pp. 20-24. (in Russ.).

10. Ermakova E.Yu., Korotkov Yu.F., Nikolaev N.A. Ochistka zagryaznennykh vod beznapornoj flotatsiei [Purification of Polluted Waters by Non-Pressure Flotation]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroyeniye - Chemical and Oil and Gas Engineering*, 2010, No. 1, pp. 41-42. (in Russ.).

11. Panova I.M., Neubert I. Flotatsionnaya ochistka stochnykh vod, zagryaznennykh nefteproduktami [Flotation Purification of Sewage Polluted with Oil Products]. *Ekologiya proizvodstva - Ecology of Production*, 2011, No. 10, pp. 70-72. (in Russ.).

12. Zapolsky A.K., Baran A.A. *Koagulyanty i flokulyanty v protsessakh ochistki vody* [Coagulants and Flocculants in the Process of Water Purification]. Leningrad, Chemistry, 1987. 202 p. (in Russ.).

Автор

• Хабибуллин Марат Яхиевич, канд. техн. наук
Филиал Уфимского государственного нефтяного
технического университета в г. Октябрьском
Доцент кафедры «Нефтепромысловые машины
и оборудование»
Российская Федерация, 452607, Республика
Башкортостан, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54 а
e-mail: m-hab@mail.ru

The Author

• Khabibullin Marat Ya., Candidate of Technical
Sciences
Oktyabrskiy Affiliate of Ufa State Petroleum
Technological University
Assistant Professor of Oilfield Machines
and Equipment Department
54 a, Devonskaya str., Oktyabrskiy, Republic
of Bashkortostan, 452607, Russian Federation
e-mail: m-hab@mail.ru