

М. И. Фарахов, С. Б. Азизов, Х. С. Шоипов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ ФЛОТАЦИИ И РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ ОТ ПРИМЕСЕЙ ТЯЖЁЛОЙ НЕФТИ

Ключевые слова: пластовая вода, тяжёлая нефть, комбинированная флотация.

Рассматривается проблема очистки пластовых вод от примесей тяжёлой нефти. Обосновывается перспективность и эффективность применения метода комбинированной флотации для очистки пластовой воды с целью её дальнейшего использования в замкнутом цикле водоснабжения. Описана конструкция экспериментальной установки, определены оптимальные параметры процесса водоочистки конкретного нефтяного месторождения. Сделан вывод о целесообразности применения сконструированной экспериментальной установки для определения оптимальных параметров процесса водоочистки пластовой воды различных месторождений тяжёлой нефти.

Keywords: formation water, heavy oil, combined flotation.

Discusses the problem of cleaning the formation water from the impurity of heavy oil. Justifies the potential and efficiency of application the method of combined flotation to treat the formation water with the purpose of it further use in the closed cycle of water supply. Describes the design of the experimental setup and the optimal parameters of the process of cleaning for the particular oil field. Given the conclusion about expediency of application of constructed experimental setup for determining the optimal parameters of the process of cleaning the formation water from different fields of heavy oil.

Постепенное истощение разведанных нефтяных месторождений делает тяжёлые нефти важнейшими альтернативными источниками углеводородного топлива. Однако промышленное освоение эффективных методов извлечения тяжёлой нефти является сложной научно-технической проблемой. Один из путей её решения – применение термошахтной разработки нефтяного месторождения, заключающейся в воздействии на пласт теплоносителями [1]. Наиболее эффективным теплоносителем является водяной пар, нагнетаемый в нефтяной пласт. Но такая технология добычи связана с необходимостью постоянного шахтного водоотлива пластовой воды. Другой серьёзной проблемой для термошахтной разработки является проблема обеспечения водой для производства пара. Перспективной представляется схема оборотного водоснабжения котельных агрегатов [2], при которой попутно добываемая пластовая вода готовится до котлового качества на водоподготовительных установках (ВПУ) и далее используется для производства пара. Но, для возможности подачи пластовой воды на водоподготовительную установку и далее на парогенератор, содержание нефтепродуктов в ней не должно превышать 50 мг/л. Концентрация же нефтепродуктов в добываемой воде зачастую превышает 3000 мг/л.

Таким образом, при разработке месторождений тяжёлой нефти остро встаёт проблема водоочистки.

Разработке и исследованию наиболее эффективного, на наш взгляд, способа очистки пластовой воды от примеси тяжёлой нефти и посвящена данная статья.

Технология очистки нефтесодержащих вод определяется фазоводисперсным состоянием образующейся системы нефть-вода. Поведение

нефти и нефтепродуктов в воде обусловлено, как правило, меньшей их плотностью по сравнению с плотностью воды и чрезвычайно малой растворимостью в воде. В связи с этим основными методами очистки воды являются механические и физико-химические [3]. Из механических методов наибольшее применение нашло отстаивание, в меньшей мере – фильтрование и центрифугование. Из физико-химических методов серьёзное внимание привлекает флотация [4].

Следует учесть, что согласно классификации, принятой в 1987 году на XII Нефтяном мировом конгрессе в Хьюстоне, к тяжёлым относятся нефти с плотностью 920,0 – 1000 кг/м³, т.е. их плотность почти не отличается от плотности воды. Поэтому тяжёлая нефть в воде будет распределена не в виде простой взвеси, легко разделяемой механическими методами, а в виде стойкой эмульсии, для разделения которой эти методы в чистом виде неприменимы.

Одним из путей решения этой проблемы является применение химической коагуляции и флокуляции, позволяющей выделить из воды тонкодиспергированные примеси и образовать из них более крупные агрегаты. Но, по данным [5], дальнейшая очистка обработанной коагулянт и флокулянт воды механическим способом обеспечивает удаление нефтепродуктов лишь на 60%.

Наиболее эффективным и, на наш взгляд, безальтернативным методом очистки пластовой воды от примеси тяжёлой нефти является метод комбинированной флотации.

Сущность метода состоит во флотировании жидкости, последовательно обработанной коагулянт и флокулянт в разработанном авторами аппарате, совмещающем в себе напорный и дисперсионный [6] флотаторы. Отличительной

особенностью аппарата является наличие рассредоточенных по высоте источников образования пузырьков воздуха. Как известно [3], размер пузырьков двояко влияет на интенсивность извлечения загрязнений – при их укрупнении растёт скорость всплытия, но одновременно снижается эффективность захвата частиц. Поэтому, с нашей точки зрения, укрупнение пузырьков оправдано после их взаимодействия с частицами. В связи с этим вначале рационально вести процесс флотации при малом газосодержании жидкости, а затем – при его повышении, для интенсификации коалесценции пузырьков [7].

Описанные теоретические предпосылки были положены в основу конструкции флотационной установки, схематично изображённой на рис. 1.

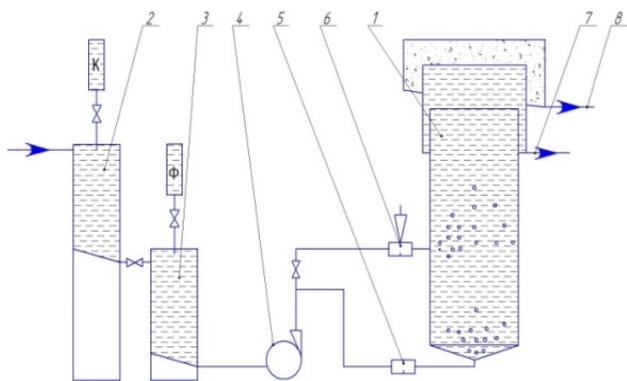


Рис. 1 - Схема экспериментальной установки

Установка работает следующим образом. Загрязнённая жидкость подаётся в камеру коагуляции 2, затем, после истечения определённого времени пребывания, в камеру флокуляции 3. Пройдя цикл химической обработки, жидкость с образовавшимися в ней хлопьями осадка подаётся на вход импеллерного насоса 4. Насос данного типа работает по принципу объёмного перемещения, перекачивание жидкости обеспечивает гибкий резиновый ротор, вращающийся в овальном корпусе насоса. Такая конструкция насоса делает возможной перекачку жидкости, содержащей твердые частицы (хлопья), с сохранением их структуры. Далее поток раздваивается: большая часть его (около 90%) через дросселирующее устройство 5 поступает в нижнюю часть флотационной колонны 1, оставшая часть – в среднюю часть колонны через водо-воздушный эжектор 6. Размеры проходных сечений, как дросселирующего устройства, так и эжектора подобраны таким образом, чтобы обеспечивалось максимальное газовыделение и газо-насыщение при минимальном разрушении сфлуктурированных хлопьев. Необходимое газосодержание на первой стадии процесса обеспечивается образованием микропузырьков из воздуха, растворённого в поступающей воде, на второй стадии – диспергированием воздуха в жидкость эжектором. Пройдя через аппарат, очищенная жидкость отводится через патрубок 7, сфлотированные загрязнения – через пеносборник 8.

Авторами была проведена серия экспериментов для подбора оптимальных гидродинамических режимов флотации, оценки влияния на степень очистки пластовой воды природы и химического состава коагулянта и флокулянта, способа и момента их введения, времени смешения, а также качества исходной воды (температура, pH).

Исследования показали существенную зависимость эффективности очистки от правильного подбора характеристик дросселирующего устройства и эжектора, адекватных заданному расходу жидкости.

Вместе с тем, результаты экспериментов показали сильное влияние на эффективность очистки технологии проведения химической обработки реагентами. В частности установлено, что интенсивность хлопьеобразования уменьшается при одновременном вводе коагулянта и флокулянта (исключении из установки одной камеры хлопьеобразования) по сравнению с последовательным вводом. Аналогичный результат получается и при смене последовательности введения реагентов коагулянт-флокулянт. Выявлено существенное влияние температуры на процесс коагуляции. Так, при изменении температуры в диапазоне 20 °С – 50 °С время хлопьеобразования сокращалось на порядок.

Обобщение результатов позволило подобрать оптимальные марки реагентов и значения их концентраций. Наибольшей эффективности очистки пластовой воды конкретного месторождения до необходимой остаточной концентрации нефти удалось достичь применением в качестве коагулянта оксихлорида алюминия с концентрацией 20 мг/л, в качестве флокулянта – препарата «Праестол-650» с концентрацией 0,7 мг/л.

Но, как отмечает большинство исследователей, скорость и эффективность процессов коагуляции и флокуляции настолько сильно зависят от качества исходной воды, её химического и дисперсионного состава, величины pH, что для подбора оптимальных параметров процесса очистки пластовых вод разных шахтных водоотливов, в каждом случае потребуются проведение экспериментальных исследований, которые могут быть проведены на сконструированной авторами установке.

Таким образом, проведённые экспериментальные исследования процесса водоочистки на разработанной установке комбинированной флотации подтверди её эффективность и способность обеспечить очистку пластовой воды от примесей тяжёлой нефти до концентраций, делающими воду пригодной для использования в замкнутом цикле водоснабжения, минимизирующим вредное воздействие пластовых вод на окружающую среду.

Литература

1. Ю.П. Коноплёв, В.В. Питиримов, В.П. Табаков, Б.А. Тюнькин, *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 7, 246-253 (2005);
2. Б.А. Колесников, *Регион*, 9, 7-10 (2012);
3. Е.А. Стахов, *Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов*, Недра, Ленинград, 1983. 263 с.;
4. М.И. Фарахов, А.Г. Лаптев, *Вестник технологического университета*, 9, 152-158 (2011);
5. И.Н. Мясников, В.А. Потанина, Н.И. Демин, Ю.М. Леонов, В.А. Попов, *Водоснаб. и сан. техника*, 1, 8 - 9 (1999);
6. Г.Л. Генцлер, *Развитие теории конструирования водоочистных флотационных аппаратов*, Наука, Новосибирск, 2004. 318 с.
7. А.Г. Лаптев, М.М. Башаров, А.И. Фарахова, *Вестник технологического университета*, 24, 132-134 (2012).

© **М. И. Фарахов** – д-р техн. наук, проф. каф. процессы и аппараты химической технологии КНИТУ, mfarahov@mail.ru;
С. Б. Азизов – канд. техн. наук, вед. инж. ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим», sazizov@bk.ru;
Х. С. Шоипов - гл. технолог ООО "ЛУКОЙЛ-Нижегородский научно-исследовательский и проектный институт по переработке нефти (ООО "ЛУКОЙЛ-Нижегороднинефтепроект", shoipovks@nnp.lukoil.com.