

Ультразвуковая техника в процессах добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов

Часть 1

М.С. Муллакаев, В.О. Абрамов (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН),
Г.Б. Векслер (Московский машиностроительный университет)

В результате постоянно увеличивающейся индустриальной активности человека возникают крупномасштабные экологические проблемы, связанные с процессами добычи, транспортировки и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов. Создание новых комбинированных физико-химических методов повышения эффективности перечисленных процессов приобретает важное народно-хозяйственное значение. Экологически безопасное ультразвуковое (УЗ) воздействие представляется при этом весьма актуальным для решения практически всего комплекса данных проблем.

Ультразвуковые комплексы нового поколения

На рис. 1 представлена блок-схема типовой УЗ установки технологического назначения. В рамках данной работы созданы основные блоки УЗ техники с использованием современной элементной базы, обеспечивающие в комплексе введение необходимой акустической мощности в нагрузку.

Модульные ультразвуковые генераторы серии MUG. Для питания УЗ установок целевого назначения разработаны универсальные УЗ генераторы нового поколения MUG, имеющие следующие преимущества: повышенная надежность, унификация функциональных блоков и узлов, увеличение верхней границы диапазона выходных частот до 30 кГц; новая система охлаждения; ПК-совместимость, обеспечивающая возможность контроля и управления технологическими режимами с центрального пульта; расширение области применения за счет создания взрывобезопасной модификации.

Технические характеристики разработанных генераторов серии MUG

Генератор	MUG 3/18-27	MUG 4/20-27	MUG 10/20-27
Выходная мощность, кВт	1...3	(1,2...4)×2	До 10
Рабочая частота, кГц	18...27	18...27	18...27
КПД, %	Не менее 85	Не менее 85	Не менее 85
Длина кабеля нагрузки, м	До 30	До 10	500...3000
Электропитание, В/Гц	220/50	380...480/50; 60	380...480/50; 60
Охлаждение	Воздушное	Воздушное	Воздушное

Общий вид генератора серии MUG показан на рис. 2. Генераторы прошли государственную сертификацию. Аппаратура для ультразвуковой обработки призабойной зоны пласта. Вследствие низкой эффективно-

сти применяемых технологий извлечения нефти, а также роста освоения залежей тяжелых нефтей наблюдается заметное уменьшение дебитов добывающих скважин. В настоящее время в России коэффициент извлечения нефти (КИН) находится в пределах 0,25...0,45, что является одним из наиболее низких значений этого показателя в промышленно развитых странах.

Аппаратура УЗ обработки призабойной зоны пласта (ПЗП) состоит из наземной (ультразвуковой генератор) и скважинной частей, соединенных между собой геофизическим кабелем. Акустическое воздействие на ПЗП осуществляется с помощью скважинных приборов СП-42/1300 мм и СП-102/1270 мм с электроакустически-

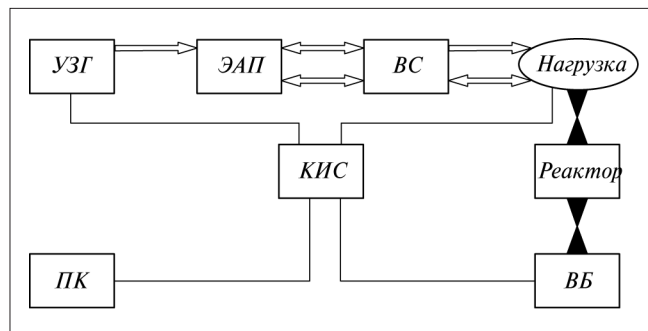


Рис. 1. Типовая блок-схема УЗ комплекса: УЗГ – УЗ генератор; ЭАП – электроакустический преобразователь; ВС – волноводная система; КИС – контрольно-измерительная система; ПК – компьютер; ВБ – вспомогательный блок



Рис. 2. Ультразвуковой генератор MUG 10/20-27

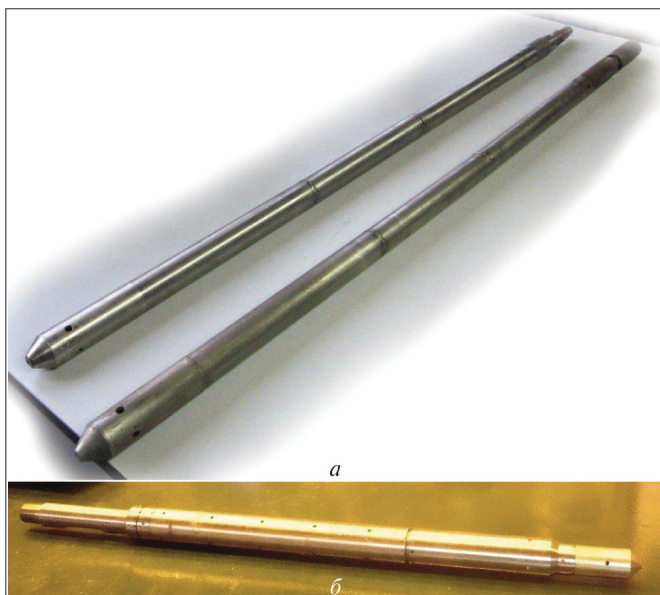


Рис. 3 Скважинные части приборов СП-42/1300 мм (а) и СП-102/1270 (б)

ми преобразователями магнитострикционного типа с развинутой излучающей поверхностью, показанными на рис. 3.

Скважинный прибор СП-42/1300 СП опускают в скважину через насосно-компрессорную трубу (НКТ) на глубину до 5 000 м. Обработка этим прибором производится локально (с разрешением 1 м) по принципу профиль притока – профиль обработки (зона обработки определяется по данным геофизических исследований).

Скважинный прибор диаметром 102 мм закрепляется на конце НКТ ниже узла забора жидкости на постоянной основе и периодически включается в течение суток. Питание осуществляется через кабель для центробежных насосов длиной до 4 000 м. Технология спуско-подъемных операций аналогична применяемой при спуске погружных насосов.

Комплекс оборудования для добычи высоковязкой нефти. Разработан и запатентован комплекс оборудования для добычи высоковязкой нефти, схема которого приведена на рис. 4. Он предназначен для комплексного воздействия ультразвуком и химическими реагентами на реологические свойства нефтей с различным содержанием смолисто-асфальтеновых компонентов.

Особенность разработанного комплекса заключается в том, что УЗ воздействие на реологические свойства нефти осуществляется в среде активированного жидкого химического реагента непосредственно в межтрубном пространстве обсадной трубы скважины и НКТ.

Для повышения эффективности УЗ колебания одновременно воздействуют как на жидкий химический реагент до разбавления им высоковязкой нефти, так и собственно на состав нефти с предварительным активированным химическим реагентом. Размещение каналов вывода химических реагентов в обсадную трубу скважины ниже источника УЗ колебаний позволяет при работе нефтяного насоса осуществлять комплексное химико-физическое воздействие на весь объем динамического уровня нефти.

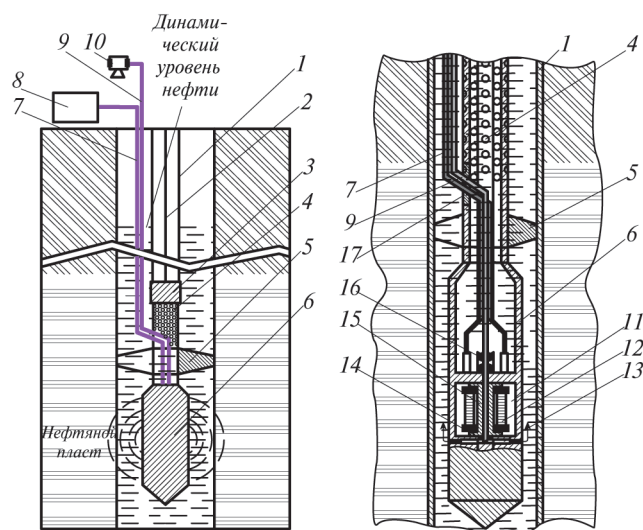


Рис. 4. Комплекс оборудования для добычи вязкой нефти: 1 – НКТ; 2 – привод насоса; 3 – насос; 4 – перфорированный участок НКТ; 5 – якорь насоса; 6 – УЗ скважинный аппарат; 7 – кабель питания УЗ аппарата; 8 – источник питания УЗ аппарата; 9 – линия подачи химического реагента; 10 – насос подачи реагента; 11 – герметичная полость; 12 – УЗ преобразователь кольцевой формы; 13 – кольцевая камера; 14 – кольцевые уплотнители; 15 – стяжка герметичной полости; 16 – манжеты; 17 – отверстие для подвода кабеля питания и линии подачи реагента

Ультразвук в процессах добычи нефти

Опытно-промысловые испытания оборудования для восстановления продуктивности скважин. В процессе опытно-промысловых испытаний опробованы различные сочетания УЗ обработки ПЗП с известными способами освоения скважин. В зависимости от геофизических данных скважины выбирался определенный способ ее освоения (газлифтный; струйным насосом или свабированием) в сочетании с УЗ обработкой ПЗП.

Проведенные испытания показали, что наиболее эффективна УЗ обработка ПЗП при одновременном создании депрессии на пласт. Всего в 2010 г. в рамках опытно-промысловых испытаний было обработано 69 нефтяных скважин (66 добывающих и три нагнетательных). Только на двух скважинах после обработки не был получен положительный результат. Продолжительность действия эффекта от УЗ обработки по первым обработанным скважинам длится от 6 месяцев до одного года. По многим скважинам эффект продолжается до сегодняшнего дня.

Усредненные параметры дебетов скважин до УЗ обработки (числитель) и после нее (знаменатель)

Среднесуточный дебит нефтяных скважин, т	3,17/7,62
Средняя обводненность нефтяных скважин, %	49,5/36,6
Средний коэффициент продуктивности	0,12/0,25

Анализ этих данных показывает, что среднесуточный дебит нефтяных скважин увеличился в 2,4 раза, а средний коэффициент продуктивности – в 2 раза. Средняя обводненность нефтяных скважин уменьшилась на 26%, благодаря избирательному воздействию УЗ обработки

на пласты. Абсолютный прирост среднего суточного дебита по всем скважинам составил 4,45 т.

По сравнению с другими способами интенсификации, применяемыми в Западной Сибири, это сопоставимые показатели. Так, прирост среднего дебита после гидроразрыва пласта составляет 6,1 т/сут., после реперфорации и соляно-кислотной обработки ~2...3 т/сут. При этом стоимость операции УЗ обработки составляет 330 тыс. руб., соляно-кислотной обработки (20 м³) – около 500 тыс. руб., гидроразрыва пласта (скин-фрактор) – 900 тыс руб.

Для пластов БВ (проницаемость меньше 20 мД, пористость меньше 15%) высокую эффективность продемонстрировал сонохимический метод обработки скважин, т.е. комбинированная обработка УЗ и химическими реагентами. Эффективность этого метода хорошо видна на примере обработки трех нагнетательных скважин: скважины 51240 и 51220 обрабатывали УЗ с введением химических реагентов, а скважину 6550 подвергали только УЗ воздействию. В результате приемистость первых двух скважин увеличилась соответственно в 25,8 и 19,4 раз, а последней – только на 30%.

Комбинированное воздействие УЗ и химических реагентов существенно изменяет свойства нефти, например, снижает ее вязкость.

Динамическая вязкость (мПа·с) нефти в зависимости от природы химического реагента и его предварительной УЗ обработки комплексом для добычи высоковязкой нефти (без УЗ активации реагента/с предварительной УЗ обработкой реагента в течение 30 с):

Исходная нефть	1014
Нефть + 1% метанола	744/707
Нефть + 2% метанола	697/635
Нефть +1% растворителя Р-12	701/671
Нефть +2% растворителя Р-12	559/490
Нефть + 1% толуола	686/488
Нефть + 2% толуола	642/429

Стендовые испытания показали, что УЗ активация химического реагента с помощью разработанного комплекса оборудования для добычи вязкой нефти позволяет значительно уменьшить расход используемого химического реагента, снизить вязкость нефти различных месторождений непосредственно в межтрубном пространстве обсадной трубы скважины и НКТ и сохранять низкие показатели динамической

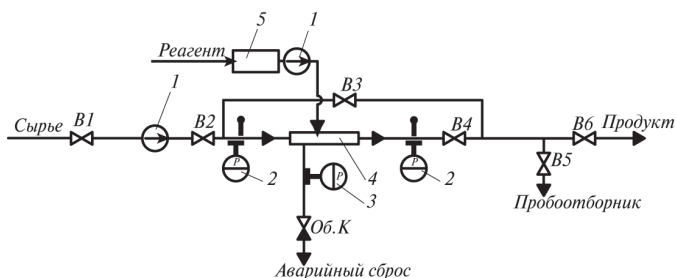


Рис. 5. Аппаратурно-технологическая схема гидродинамической протоочной установки:
1 – насос; 2 – манометр; 3 – мановакууметр; 4 – гидродинамический кавитационный модуль; 5 – блок предварительной УЗ активации реагента

вязкости в течение времени, достаточного для транспортировки добываемой нефти по трубопроводам.

Ультразвук в процессах нефтепереработки

Мировые ресурсы тяжелых и вязких нефтей оцениваются в 700 млрд. т. В России запасы таких нефтей достигают 7,2 млрд. т, что составляет 28,6% балансовых запасов, сосредоточенных на 267 месторождениях. Они представляют собой высококонцентрированные дисперсные системы, что отражается на энергоёмкости их добычи, транспортировки и переработки. Интенсификация этих процессов достигается за счет применения химических и физических методов целенаправленного изменения баланса сил межмолекулярного взаимодействия.

В связи с ужесточением европейских нормативов к техногенным выбросам важнейшей задачей НПЗ России является переход на производство экологически чистого дизельного топлива. Широко известными и распространенными методами обессеривания являются гидроочистка, сернокислотная и щелочная очистка, а также окислительное обессеривание. Их недостатками являются высокая стоимость, сложность аппаратного оформления, значительный расход реагентов и образование трудно утилизируемых стоков, загрязняющих окружающую среду.

Комбинированное воздействие ультразвука и химических реагентов на реологические свойства тяжелых нефтей. Комбинированная технология снижения вязкости тяжелых нефтей в промышленных масштабах предусматривает УЗ активацию сырья в проточном режиме. В этом случае гидродинамические излучатели (ГДИ) имеют очевидные преимущества перед другими источниками энергии, так как при их использовании весь сырьевой поток, являющийся одновременно источником звука и объектом обработки, проходит через кавитационную область. ГДИ надежны в эксплуатации благодаря отсутствию электронных частей и имеют низкую стоимость акустической энергии.

Авторами разработана методика расчета технологических параметров процесса обработки нефти в ГДИ с предварительным введением реагента. На этой основе была разработана автономная промышленная установка (производительность 3 м³/ч) для снижения вязкости нефти (рис. 5, 6).

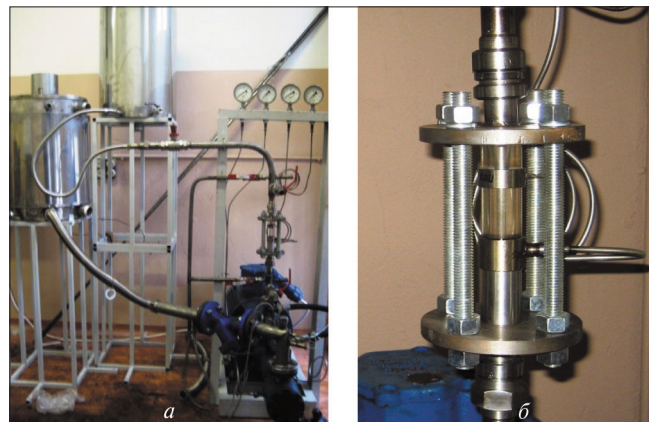


Рис. 6. Автономная промышленная установка:
а – общий вид; б гидродинамический излучатель

Для повышения эффективности процесса реагент подается в зону разрежения диффузора. Нефть из исходной емкости с помощью насоса 1 и вентиля В1 под давлением 8,0...12,0 МПа поступает в кавитационный модуль, где происходит разгон потока нефти. С возрастанием скоростного напора, сопровождаемым падением статического напора ниже давления упругих паров до 0,09...0,05 МПа, начинается обильное выделение пузырьков газа. После увеличения сечения потока в камере скорость истечения уменьшается, статическое давление возрастает до 3,0...8,0 МПа, пузырьки газа схлопываются, что сопровождается многочисленными хаотическими микровзрывами.

Давление после реактора задается вентилем В4. Обратный клапан Об. К служит для защиты мановакуумметра. Сопутствующие этому высокие градиенты давления разрушают межмолекулярные связи в нефти, измельчая парафины и разрушая ассоциаты нефти и снижают ее вязкость.

Опытно-промышленные испытания установки проведены на опытном заводе ОАО ВНИИ НП. Серии экспериментов по обработке нефти на этой установке с использованием различных реагентов дали следующие результаты.

При концентрации 2; 4 и 6% мас. газоконденсата дополнительный эффект от обработки нефти (снижение вязкости) составлял соответственно 19,2; 25,8 и 55%. Еще больший эффект наблюдался при использовании гексана – при содержании реагента 2, 4 и 6% вязкость уменьшилась соответственно на 22,8, 42,6 и 65,3%. Но для практического применения представляется целесообразным использование нефтяного растворителя Р-12 – при содержании реагента 4% вязкость падает на 46,6 %.

Результаты экспериментов, представленные на рис. 7, показали, что обработка нефти на установке с применением реагентов позволяет также значительно снизить температуру застывания обработанной нефти: при использовании газоконденсата – на 52,9%, реагента Р-12 – на 58,8% и гексана – на 94,1 %.

УЗ воздействие на нефтяные системы способно за счет нелинейных акустических эффектов разрушить как первичные (слоисто-пачечные ассоциаты), так вторичные надмолекулярные образования (мицеллы). Но, как показали эксперименты, нефть в течение суток восстанавливает прежнюю вязкость после УЗ обработки, что объясняется обратным построением надмолекулярных

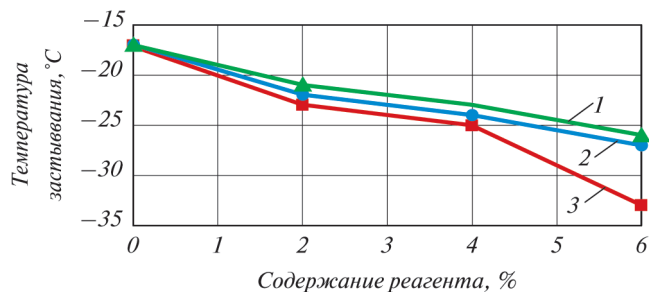


Рис. 7. Зависимость температуры застывания нефти после комбинированной обработки с УЗ воздействием от концентрации реагентов:

1 – газоконденсат; 2 – гексан; 3 – растворитель Р-12

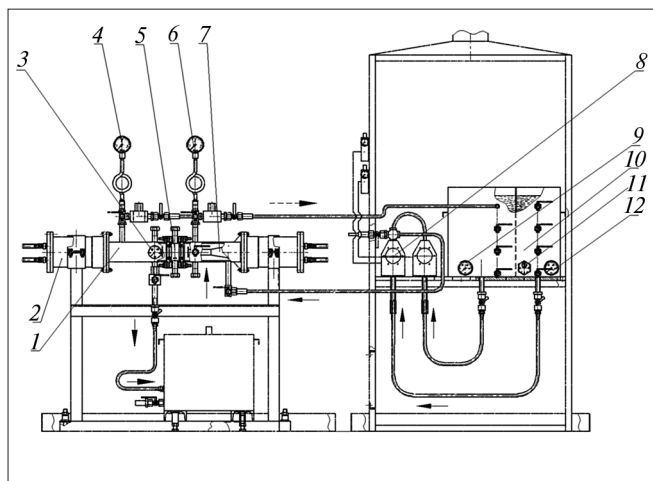


Рис. 8. Пилотная установка УЗ обессеривания нефтепродуктов:

1 – камера активации; 2 – магнестрикционный преобразователь; 3, 9, 12 – термометры; 4, 6 – манометры; 5 – съемная кассета; 7 – волноводная система; 8 – насос; 10 – приемный резервуар; 11 – трубчатый нагреватель

образований. В то же время совместное применение реагентов и УЗ воздействия более эффективно, когда за счет УЗ воздействия химические реагенты равномерно распределяются по всему объему и препятствуют обратному построению надмолекулярных образований.

Повышение эффективности процессов обессеривания нефтепродуктов при ультразвуковом воздействии. На основе выполненных экспериментов разработана пилотная установка проточного типа для УЗ обессеривания нефтепродуктов в виде замкнутой циркуляционной системы (рис. 8). В состав установки входят двухканальный генератор, две синфазные колебательные системы с магнестрикционными преобразователями и реактор объемом 2,2 л.

В ходе испытаний установки отработаны режимные и технологические параметры процесса окисления сероорганики дизельной фракции (ДФ), которые подтвердили эффективность периодического УЗ воздействия на катализатор: степень очистки от органических соединений серы увеличилась в среднем в 1,5 раза без дополнительного повышения давления и температуры.

Для активации ДФ в проточном режиме создана представленная на рис. 9 опытно-промышленная установка с ГДИ производительностью 1,3 м³/ч. На опытном заводе ВНИИ НП в процессе модернизации промышленной технологии сероочистки ДФ эта установка была заблокирована, как показано на рис. 10, с одним из штатных комплексов гидроочистки (ГО) и в его составе введена в опытную эксплуатацию. При этом производилась оценка эффективности предварительной УЗ активации катализатора.

Для исключения влияния условий ГО аналитическому контролю подвергались два размещенных в одном помещении комплекса: штатный и модернизированный. Первый работал в штатном режиме на прямогонной ДФ с катализатором SynCat 3, второй – в соответствии с модернизированной технологией – на том же сырье,

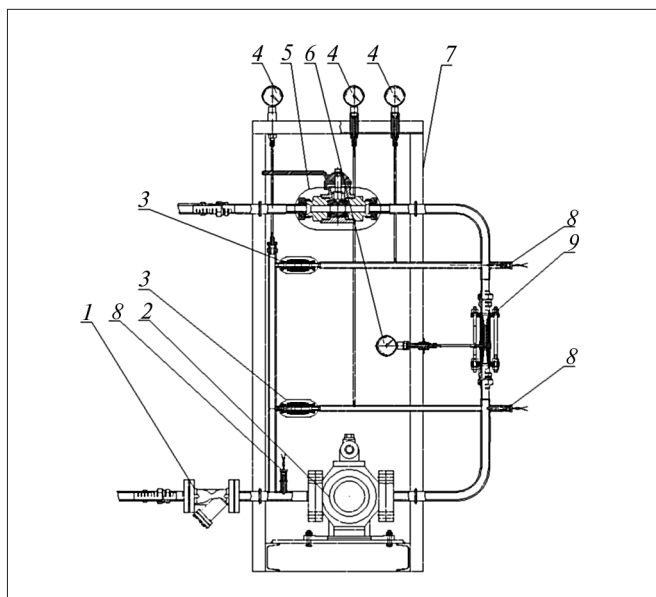


Рис. 9. Опытно-промышленная установка с ГДИ:
1 – фильтр; 2 – насос; 3, 5 – краны; 4 – манометр;
6 – мановакуумметр; 8 – датчик температуры;
9 – гидродинамический излучатель

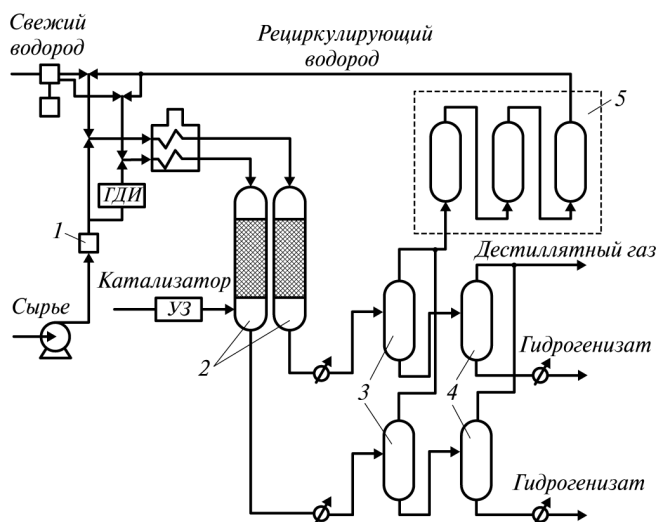


Рис. 10. Схема модернизированной гидроочистки:
1 – фильтр; 2 – реактор; 3 – сепаратор высокого давления;
4 – сепаратор низкого давления; 5 – блок очистки газа от сероводорода

предварительно активированном в ГДИ, и с тем же катализатором, активированном в УЗ поле.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 11, свидетельствуют о том, что работа штатного комплекса менее эффективна: содержание серы после очистки ДФ в течение 30-дневной эксплуатации увеличилось с 340 до 450 ppm. В то же время модернизированный комплекс обеспечивал более глубокую

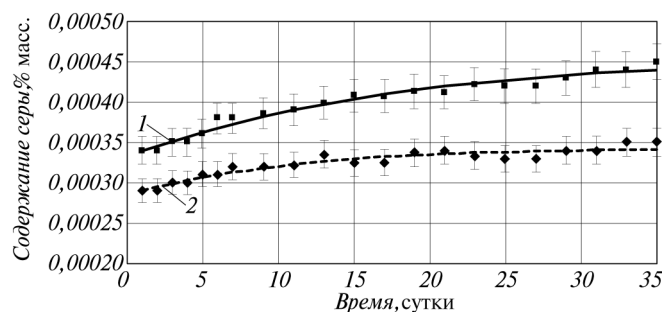


Рис. 11. Изменение содержания серы в сырье в процессе работы установки гидроочистки:
1 – штатный комплекс; 2 – модернизированный комплекс

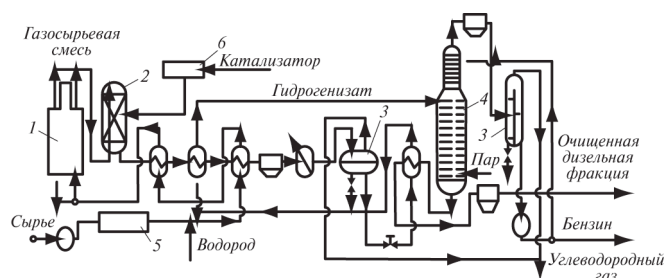


Рис. 12. Модернизация схемы НПЗ:
1 – печь; 2 – реактор; 3 – сепараторы; 4 – стабилизационная колонна; 5 – ГДИ для обработки сырья; 6 – УЗ установка для обработки катализатора

очистку: за истекший период содержание серы в ДФ было ограничено диапазоном 290...350 ppm.

Установлено, что в типичных условиях, характерных для действующих промышленных установок ГО, разница в степени очистки становилась заметной после 330°C. Так, при температуре реактора 340°C эта разница составляет 0,1%, а при температуре 360°C – 0,6 %, при этом эффективность ГО – 96,4%, эффективность ГО с УЗ активацией – 97,0%.

Результаты гидроочистки дизельной фракции (штатная ГО/ГО с предварительной УЗ активацией), %

Дебензотиофен	65,60/100,00
2-Ме-Дебензотиофен	49,40/68,11
3-Ме-Дебензотиофен	68,24/100,00
4-Ме-Дебензотиофен	66,70/100,00
Остальные	45,39/51,52
Общее	55,83/71,04

Результаты хроматографического анализа свидетельствуют, что УЗ обработка сырья и катализатора наиболее эффективна для удаления дибензотиофенов (наиболее трудно удаляемый вид ОСС). В качестве технического решения по модернизации технологии ГО на НПЗ рекомендовано включение блоков УЗ активации по схеме, представленной на рис. 12.

Ультразвуковая техника в процессах добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов

Часть 2

М.С. Муллакаев, В.О. Абрамов (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН), Г.Б. Векслер (Московский машиностроительный университет)

Увеличение объемов добычи нефти приводит к усилению техногенной нагрузки на все компоненты экосистемы: на почву, воду и атмосферу. По оценкам экспертов, в России добыча нефти в 2010 г. составила 505 млн. т. Потери нефти и нефтепродуктов при этом составляют соответственно 25 и 12 млн. т. Более 3 млн. га земель выведено из оборота из-за замазученности.

Флотационная очистка нефтезагрязненных вод с предварительной УЗ активацией реагентов

Основная идея нашей разработки заключается в том, чтобы создать технологию, позволяющую подвергать кратковременной УЗ обработке лишь малые объемы концентрированных растворов реагентов, которые затем вводятся в поток очищаемых стоков и многократно разбавляются, что позволяет резко сократить затраты на энергию и аппаратуру [1–2].

Принципиальная аппаратурно-технологическая схема процесса УЗ реагентной флотации представлена на рис. 1.

Установлено, что предварительная УЗ обработка алюмосодержащих коагулянтов типа Аква-Аурат марок А10, А18 и А30, гидроксохлорида алюминия марки Б, флокулянтов типа «Праестол» 852, 853 и 857 и 2540 обеспечивает повышение степени очистки загрязненных вод за счет увеличения числа центров коагуляции и уплотнения образующихся частиц дисперсной фазы.

Гистограмма на рис. 2 наглядно иллюстрирует тенденции и качественную картину эффективности УЗ воздействия при совместном использовании двух реаген-

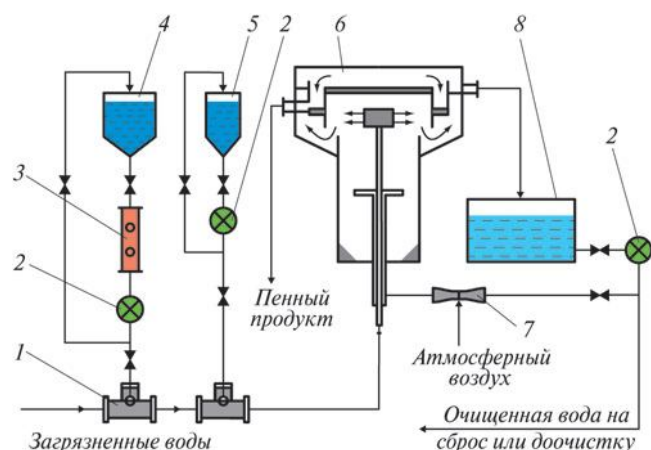


Рис. 1. Принципиальная аппаратурно-технологическая схема процесса УЗ реагентной флотации: 1 – гидродинамический излучатель; 2 – насос; 3 – ультразвуковой реактор; 4 – емкость коагулятора; 5 – емкость флокулятора; 6 – флотационный аппарат; 7 – гидродинамический кавитатор; 8 – емкость для сбора очищенной воды

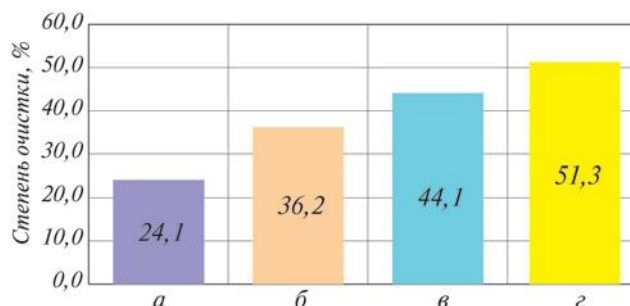


Рис. 2. Повышение эффективности применения Аква-Аурата 30 и Праестола 857 при их совместном использовании и предварительной ультразвуковой активации (УЗА): а – Аква-Аурат А30; б – Аква-Аурат А30 и Праестол 857; в – то же, Праестол подвергался УЗА в течение 10 с; г – то же, Аква-Аурат А30 подвергался УЗА в течение 30 с, а Праестол в течение 10 с

тов – коагулянта (Аква-Аурат А 30, 10 мг/л) и флокулянта («Праестол» 857,2 мг/л).

Наиболее эффективным реагентом для очистки сточных вод следует считать активированный УЗ алюмокремневый коагулянт-флокулянт (АКФК). Стоимость этого комплекса существенно ниже стоимости аналогов, освоенных в настоящее время промышленностью, причем при использовании технологии УЗ обработки реагента удается провести эффективную очистку даже при низких температурах обрабатываемой воды (табл. 1).

Таким образом, показано, что акустическое воздействие может заметным образом повышать активность практически всех испытанных нами реагентов. Для коммерческой реализации может быть предложено

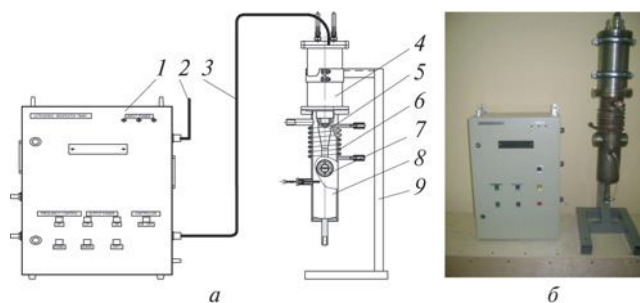


Рис. 3. Схема (а) и общий вид блока предварительной активации (б) установки «Пультсар-2» 4-2,5 для предварительной УЗА химических реагентов: 1 – генератор МУГ 4|18-27; 2 – кабель питания (к сети 3×380 В, 50 Гц); 3 – выходной кабель; 4 – преобразователь МСП 3/22; 5 – волновод; 6 – термостатирующий радиатор; 7 – окно визуализации; 8 – реактор; 9 – монтажная стойка

на как аппаратура для УЗ активации реагентов, так и сам реагент АКФК.

Полученные результаты позволили разработать блок предварительной активации реагентов «Пульсар-2», показанный на рис. 3.

Опыт лабораторных и стендовых экспериментов был использован в рамках проекта с ГП «Союзводоканал-

проект» [3] при модернизации аппаратурно-технологической схемы очистных сооружений поверхностных стоков, поступающих по коллектору Студенец–Ваганьковский ручей вблизи Краснопресненской набережной р. Москвы (рис. 4).

В состав этого блока входят 10 флотационных аппаратов с рабочей камерой объемом ~25 м³, оснащен-

Таблица 1

Очистка модельных эмульсий от нефтепродуктов с применением АКФК

Условия реагентного воздействия	Концентрация нефтепродуктов после очистки, мг/л		Степень очистки, %	
	При 6°С	При 20°С	При 6°С	При 20°С
АКФК (20 мг/л по Al ₂ O ₃)	1,72	0,628	79,5	93,7
АКФК (20 мг/л по Al ₂ O ₃) после УЗ	0,09	0,512	98,9**	94,9*
АКФК (20 мг/л по Al ₂ O ₃) после 4-кратного разбавления	–	0,592	–	94,1
АКФК (20 мг/л по Al ₂ O ₃) после 4-кратного разбавления и УЗ	–	0,432	–	95,7*
АКФК (10 мг/л по Al ₂ O ₃) и Праестол 853 (2 мг/л)	1,45	–	82,6	–
АКФК (10 мг/л по Al ₂ O ₃) после УЗ и Праестол 853 (2 мг/л) после УЗ	0,07	–	99,2*	–

Примечания. Начальная концентрация нефтепродуктов при 6°С составляла 8,41 мг/л; при 20°С – 10,0 мг/л.

*Продолжительность УЗ активации АКФК – 1 мин.

**Продолжительность УЗ активации АКФК – 2 мин.

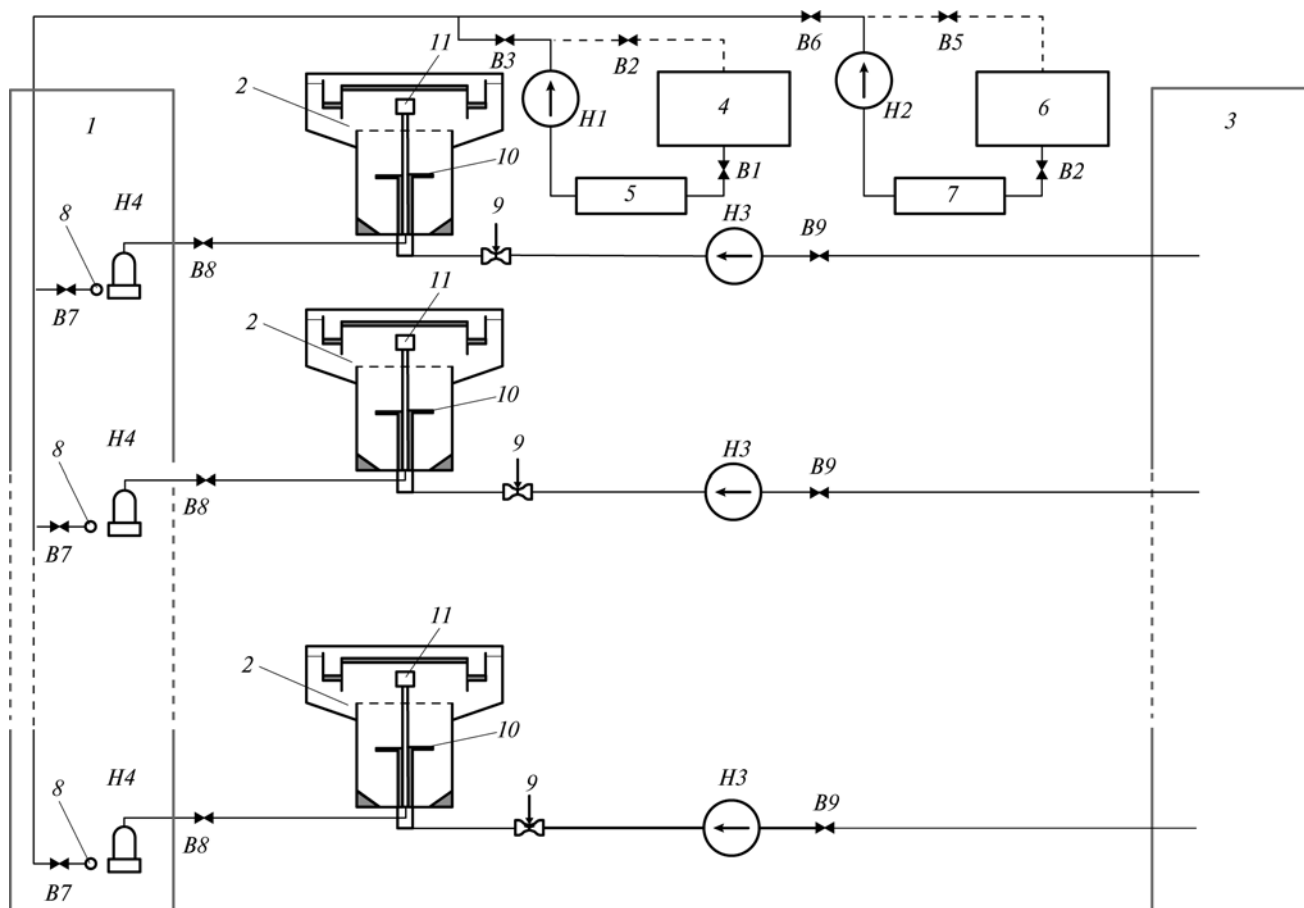


Рис. 4. Принципиальная аппаратурно-технологическая схема блока реагентной флотации очистных сооружений на Краснопресненской набережной р. Москвы
 1 – резервуар усреднения стоков, после песколовки; 2 – флотаторы; 3 – резервуар сбора воды после флотации; 4 – емкость для подачи коагулянта; 5 – УЗ установка активации раствора коагулянта; 6 – емкость для подачи флокулянта; 7 – УЗ установка активации раствора флокулянта; 8 – гидродинамический излучатель ввода раствора коагулянта и флокулянта; 9 – струйные кавитационные аэраторы; 10 – аэрирующие коллекторы; 11 – распределительные устройства очищаемой воды во флотатор

ных струйными кавитационными аэраторами для насыщения газом циркулирующего потока очищенной воды, и УЗ установки активации реагентов. Максимальная производительность очистных сооружений – не более 4 680 м³/ч. УЗ в данном случае является необходимым фактором, гарантирующим надлежащий режим работы очистных сооружений в холодное время года, когда в отсутствии УЗ активации реагентов на фильтры будут поступать недоочищенные воды с содержанием загрязнений 1,45...1,72 мг/л, что не позволит поддерживать штатный режим их работы и повлечет превышение норм ПДК более чем в 25 раз.

Очистка нефтезагрязненных вод на основе ультразвуковой активации гальванокоагулянта

В последние годы при строительстве и реконструкции различного рода станций нейтрализации и очистных сооружений широкое распространение получил гальванокоагуляционный способ очистки сточных вод от тяжелых металлов, нефтепродуктов и других органических загрязнений.

Экспериментально выявленное существенное повышение активности образующихся в гальванокоагуляторе кристаллов при УЗ воздействии позволило разработать новую технологию очистки значительных объемов загрязненных вод в специальных реакционных аппаратах [1, 4]. При этом гальванокоагулятор является только наработчиком железосодержащего реагента (в основном магнетита).

Аппаратурно-технологическая схема УЗ гальванокоагуляционной очистки воды представлена на рис. 5. Как видно, очистка воды от ионов тяжелых металлов, нефтепродуктов и других органических загрязнений осуществляется в реакционной камере 5, в которую одновременно с водой поступает суспензия магнетита, из гальванокоагулятора и активированная в УЗ реакторе 4. Время активации регулируется изменением скорости циркуляции суспензии в замкнутом контуре, включающем скрапоуловитель 2 и насосный блок 3. Обезвреженная в результате контакта с магнетитом вода из реакционной камеры 5 насосом подается на рамный фильтр-пресс 7, где осуществляется отделение твердых включений. Циркуляционный контур с входящими в его состав гидроциклоном 6 и системой регулировочных клапанов 8, насосным блоком, а также барботаж сжатым воздухом

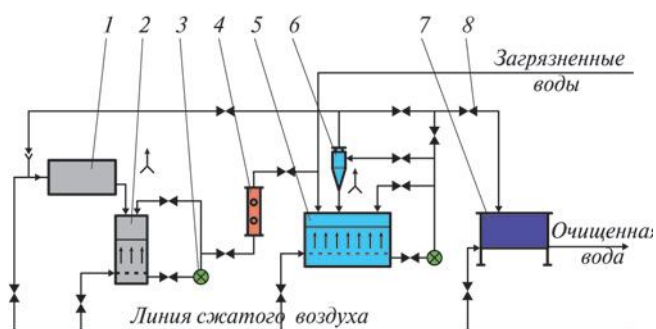


Рис 5. Аппаратурно-технологическая схема ультразвуковой гальванокоагуляционной очистки воды от тяжелых металлов, нефтепродуктов и других органических загрязнений

обеспечивают интенсификацию процесса в реакционной камере.

Отработка технологии УЗ гальванокоагуляционной очистки осуществлялась с использованием модельных смесей и реальных проб производственных стоков, в частности загрязненных вод участка мойки подвижного состава депо «Невское» Санкт-Петербургского метрополитена.

Режимные и технологические параметры УЗ гальванокоагуляционного блока

Концентрация гальванокоагулянта, мг/л	500
Интенсивность УЗ воздействия, Вт/см ²	20...30
Время ультразвуковой активации, с	60
Время контакта гальванокоагулянта с загрязненной водой, мин	10

Результаты очистки представлены в табл. 2.

Эффективность новой технологии и данные, полученные в процессе обследования этого и подобных объектов, легли в основу разработки промышленного мобильного сонохимического комплекса очистки загрязненных вод [5], который легко вписывается в инфраструктуру предприятий (рис. 6). Очищенная вода подается на повторное использование, что позволяет снизить общее водопотребление не менее чем в 6 – 8 раз.

Очевидным преимуществом УЗ гальванокоагуляционной технологии является также ее универсальность и надежность (возможность эффективной очистки загрязненных вод при значительных колебаниях концент-

Таблица 2

Результаты очистки стоков участка мойки подвижного состава депо «Невское» Санкт-Петербургского метрополитена

Загрязнения	Концентрация загрязнений, мг/л			Степень очистки, %
	Загрязненная вода	ПДК горколлектора	Очищенная вода	
Взвешенные	500...2000	18	–	100
Нефтепродукты	50...200	0,70	0,16...0,37	99,7–99,8
Марганец	0,55	0,100	0,013...0,017	99,7–99,8
Железо	4,0...4,6	1,1	0,08...0,10	98,0–97,8
Цинк	0,6...0,7	0,7	0,017...0,020	99,7–99,8
Медь	4,0	0,040	0,0014...0,0016	88,3–99,2
Алюминий	0,00...0,50	0,12	–	100
СПАВ	0,0...4,0	1,4	–	100
РН	7,0...9,0	7,0...9,0	7,0	–



Рис. 6. Мобильный комплекс ультразвуковой гальванокоагуляционной очистки загрязненных вод: а – общий вид контейнера; б – блочно-модульная установка

рации вредных примесей и любых значениях pH без предварительной коррекции).

Ультразвук в процессах очистки нефтесодержащих грунтов

Ультразвук представляет несомненный интерес в качестве перспективного метода воздействия в процессах разделения гетерогенных смесей или в комбинации с другими методами, он может быть эффективной альтернативой традиционным процессам. Уникальные

свойства УЗ позволяют с успехом использовать его в процессах разделения твердожидких смесей. Последние достижения в области создания мощных УЗ проточных систем открывают возможность разработки высокопроизводительных разделительных установок промышленного масштаба [1].

С учетом результатов наших исследований [6], был разработан пилотный стенд для переработки нефтешламов и нефтесодержащих грунтов, оснащенный УЗ техникой промышленного масштаба.

Принципиальная аппаратурно-технологическая схема и общий вид стенда представлены на рис. 7.

Измельченная нефтесодержащая порода с помощью транспортного устройства 1 поступает в смеситель 2, куда одновременно поступает горячая вода (70°C) и химический реагент из емкости 8. После перемешивания, разжиженная нефтесодержащая порода с помощью насоса 3 поступает в трубчатый УЗ реактор проточного типа 4 производительностью 0,7 м³/мин и далее на циклон 5 и в центрифугу 6, где отделяются твердые компоненты, удаляемые транспортером 7. После сборника промывного фугата 9, водно-нефтяная эмульсия направляется для разделения в сепаратор 10. После сепаратора вода из емкости 11 направляется на доочистку и сброс, нефтепродукты из емкости 12 направляются на переработку.

Акустическая система установки оснащена УЗ генератором MUG 4/20-27, четырьмя преобразователями МСП 2,5/24 и волноводной системой.

Технические характеристики компонентов акустической системы

	Генератор MUG	Преобразователь	Реактор
Рабочая частота, кГц	18...27	24,4	24,4
Электропитание, В/Гц	380/50; 60	450/50	–
Потребляемая мощность, кВт	10	2,5	4×2,5
Производительность, л/мин	–	–	70
Габаритные размеры, мм	400×400×220	400×200×200	Диаметр 60
Масса, кг	Не более 20	Не более 7,5	Не более 6,5

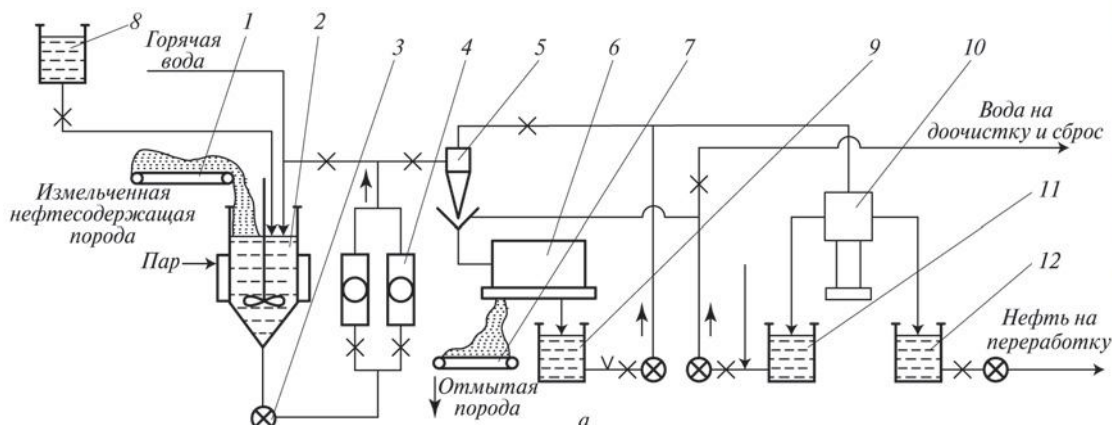


Рис. 7. Принципиальная аппаратурно-технологическая схема переработки нефтесодержащих грунтов с использованием УЗ техники (а); общий вид стенда (б); УЗ генератор MUG 10/20-27 (в)

Результаты очистки грунта (без УЗ обработки/после УЗ обработки)

Место обработки	Поток	Масса компонентов, кг		
		Твердые вещества	Нефтепродукты	Вода
После гидроциклона	Концентрат	33,8/31,8	2,3/2,2	62,4/62,7
	Осветленный поток	0,4/1,3	6,9/8,7	187,6/187,3
После центрифуги	Осадок	29,1/28,3	4,5/3,0	8,7/8,5
	Фугат	1,9/1,8	0,7/0,4	165,8/166,1
После сепаратора	Осадок	2,3/3,1	0,8/0,9	0,9/1,0
	Фугат	–	6,9/8,2	352,5/352,4

На площадке предприятия «Эмульсионные технологии» (г. Самара) были проведены опытно-промышленные испытания пилотного стенда на нефтезагрязненном песчаном грунте промышленной площадки Самарского комплекса Приволжского филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт».

Компонентный состав и плотность образцов

Нефтепродукты, % мас.	24,2
Вода, % мас.	12,4
Железо, % мас.	0,6
Плотность, кг/м ³	1665

Перемешанная в течение 5 мин в циркуляционном контуре, включающем смеситель 2 (см. рис. 7) с перемишывающим устройством и насосный блок 3, суспензия загрязненного грунта, содержащая 31,4 кг твердых веществ, 12,1 кг нефтепродуктов и 306,5 кг воды, в течение 30 мин подавалась в гидроциклон 5 и далее в центрифугу 6 и сепаратор 10 попеременно с УЗ обработкой потока в реакторе 4 и без нее.

Результаты очистки нефтезагрязненного грунта представлены в табл. 3. Как видно, результаты стендовых испытаний свидетельствуют о высокой эффективности использования разработанного УЗ оборудования в процессах очистки нефтезагрязненных грунтов.

Таким образом, разработаны, экспериментально проверены и прошли апробацию в промышленных условиях научно-технические решения, обеспечивающие повышение эффективности добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и почв за счет использования экологически безопасного УЗ воздействия.

Создано и испытано новое поколение компактного ПК-совместимого УЗ оборудования (универсальные генераторы, электроакустические преобразователи, волноводные системы, скважинные аппараты, УЗ проточные реакторы) выпуск и коммерческая реализация которого осуществляется ООО «Виатех».

Созданы и испытаны автономная установка промышленного масштаба с гидродинамическим излучателем для снижения вязкости и температуры застывания нефтей; опытно-промышленная установка УЗ активации сырья и катализатора для обессеривания прямогонной дизельной фракции; мобильный комплекс УЗ гальванокоагуляционной очистки загрязненных вод.

Разработаны и защищены патентом следующие технические решения: устройство воздействия на призабойную зону пласта с использованием УЗ колебаний; комплекс оборудования для добычи высоковязкой нефти; комплекс сорбционной очистки загрязненных вод.

Проведены опытно-промышленные испытания УЗ скважинных аппаратов на Самотлорском месторождении в ОАО «Самотлорнефтегаз» (Западная Сибирь) и других объектах; мобильного комплекса УЗ гальванокоагуляционной очистки нефтезагрязненных вод на территории ООО «Балтпромарматура»; опытно-промышленная установка с гидродинамическим излучателем на опытном заводе ОАО «ВНИИ НП».

Предложены проектно-технологические решения по модернизации технологии флотационной очистки поверхностных вод на основе предварительной УЗ активации химических реагентов на очистных сооружениях, а также по реконструкции очистных сооружений с использованием УЗ гальванокоагуляционного комплекса очистки загрязненных вод.

Список литературы

1. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация технологических процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов: Дис. ... д-ра. техн. наук. М.: МГУИЭ. 2012.
2. О.В. Абрамов, В.О. Абрамов, Г.Б. Векслер, Е.В. Заботина, О.А. Каширская, Н.Н. Кулов, А.В. Школьников, Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация реагентной очистки поверхностных стоков от нефтепродуктов. Химическая технология. Т. 9. №5. 2008.
3. Абрамов В.О., Векслер Г.Б., Муллакаев М.С., Аитова И.З. Ультразвуковая интенсификация процессов очистки поверхностных вод Студенец–Ваганьковского ручья на Краснопресненской набережной Москвы//Экология и промышленность России. ЭКИП. №1. 2011.
4. М.С. Муллакаев, Г.Б. Векслер, Н.Е. Кручинина, В.О. Абрамов. Ультразвуковая интенсификация гальванокоагуляционной очистки воды. Тез. докл. VI междунар. науч.-практ. конф. «Экологические проблемы индустриальных мегаполисов». М.: 2009 г.
5. Абрамов В.О., Баязитов В.М., Золеззи Г.А.А., Векслер Г.Б., Муллакаев М.С. Комплекс сорбционной очистки загрязненных вод. Международная заявка РСТ/RU 2009000465 от 06.10.2009 г. Бюлл. междунар. патентных заявок. Женева: Изд. Междунар. бюро ВОИС.2009.
6. O.V. Abramov, V.O. Abramov, S.K. Myasnikov, M.S. Mullakaev. Extraction of bitumen, crude oil and its products from tar sand and contaminated sandy soil under effect of ultrasound//Ultrasonics Sonochemistry. 2009. Vol. 16, Issue 3.