



УДК 628.32

DOI: 10.25514/CHS.2021.2.20003

Проблемы загрязнения водоемов нефтесодержащими сточными водами промышленных предприятий и варианты их решения

Е. С. Дремичева✉

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия,
e-mail: lenysha@mail.ru

Поступила в редакцию: 07.07.2021 г.; после доработки: 23.11.2021 г.; принята в печать: 25.11.2021 г.

Аннотация – Рассмотрена проблема загрязнения природных водоемов сточными водами, содержащими нефть и нефтепродукты. В связи с тем, что зачастую на промышленных предприятиях при разработке схем очистки сточных вод не учитываются их многокомпонентность и многофазность, в работе были проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности очистки вод, содержащих нефтепродукты в разных состояниях. Были проведены эксперименты по седиментации, сорбции, также были оценены реологические свойства сточных вод. В заключение была приведена схема очистки сточных вод от нефтепродуктов, по которой очищенные воды могут быть направлены в водооборотные системы различных производств.

Ключевые слова: нефтепродукты, сточные воды, отстаивание, реологические свойства, адсорбция, схема очистки, водооборотные системы.

Technologies for elimination of chemical hazards

UDC 628.32

DOI: 10.25514/CHS.2021.2.20003

Problems of pollution of water bodies with oil-containing wastewater of industrial enterprises and options for their solution

Elena S. Dremicheva✉

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia,
e-mail: lenysha@mail.ru

Received: July 7, 2021; Revised: November 23, 2021; Accepted: November 25, 2021

Abstract – The problem of pollution of natural water bodies with wastewater containing oil and petroleum products is considered. Often in industrial enterprises in the development of wastewater treatment schemes do not take into account their multicomponent and multiphase. Experimental studies to evaluate the effectiveness of treatment of waters containing petroleum products in different states were conducted in the work. Experiments were conducted on sedimentation,

sorption, and the rheological properties of wastewater were also evaluated. In conclusion, a scheme of wastewater treatment of petroleum products was given.

Keywords: petroleum products, wastewater, settling, rheological properties, adsorption, cleaning scheme, water-co-airing systems.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из экологических проблем является сброс в водоемы сточных вод, которые не подвергались очистке или очистка была проведена не соответствующим образом. При этом нормы сброса сточных вод по различным показателям строго нормированы, достаточно жесткие, а для некоторых примесей зачастую эти нормы равны требованиям ПДК. Природные водоемы также являются и источником водоснабжения. Поэтому влияние качества поступающей на производство воды весьма существенное, и остро встает необходимость в предотвращении отрицательного воздействия производственных сточных вод на водоемы.

Одним из основных направлений научно-технологического развития является создание малоотходных и безотходных технологических процессов. В области очистки сточных вод таким направлением является разработка водоотводящих систем с минимальным сбросом сточных вод в водоем, бессточных и оборотных систем.

Особую опасность представляют сточные воды, загрязненные нефтью и продуктами ее переработки. Легкие нефтепродукты создают пленку на поверхности воды, нарушая тем самым ее аэрацию, тяжелые оседают на дно и губительно действуют на придонную флору и фауну. Кроме того, нефтепродукты обладают низкими значениями ПДК, их биохимическое окисление протекает крайне медленно. Поэтому их воздействие на природные водоемы носит длительный характер.

Также особенность нефтепродуктов как загрязнителей окружающей среды заключается в том, что их количество плохо поддается прогнозированию. Помимо основного запланированного сброса загрязненных сточных вод основным источником загрязнений природных вод нефтью и нефтепродуктами остаются техногенные аварии и значительное количество неорганизованного отвода ливневого и талого стоков с территорий нефтедобывающих предприятий, нефтяных терминалов и нефтебаз, хранилища нефтепродуктов, а также системы перекачки и транспортировки [1].

Очистка сточных вод на современных промышленных предприятиях включает в себя несколько последовательных стадий, при этом степень удаления загрязняющих веществ практически не регламентируется и определяется исключительно условиями сброса в водоем или использования в водооборотной системе. В данный момент для решения большинства возникающих при очистке сточных вод технологических и технических проблем накоплен определенный опыт, который учитывает и многокомпонентность, и многофазность содержащихся в воде нефти и

нефтепродуктов. Однако на практике в целях экономии часто реализуются типовые схемы, не учитывая количество, состав и качество сточных вод [1, 2].

На первом этапе разработки технологической схемы очистки сточных вод необходимо учитывать компонентный состав содержащихся в них нефтепродуктов, их количество, состояние и степень устойчивости. Устойчивость сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, как дисперсных систем подразделяют на два вида:

- седиментационную устойчивость – устойчивость к осаждению дисперсной фазы, характеризующую способность сохранять равномерное распределение их частиц по объему дисперсионной среды;
- агрегативную устойчивость – устойчивость к агрегации частиц дисперсной фазы, характеризующую способность их противодействовать процессам укрупнения частиц дисперсной фазы [3].

По физическим свойствам различают легко отделяемые, трудноотделимые и растворенные в воде нефтепродукты.

По фазово-дисперсному состоянию нефтепродукты могут находиться как в виде гетерогенных систем (эмульсии), так и в виде гомогенных (растворенные нефтепродукты). Причем, какая система будет образовываться, определяется размерами частиц нефтепродуктов и их концентрацией. Также на фазовое состояние влияет наличие в воде стабилизирующих веществ.

Таким образом, при высоких концентрациях нефтепродуктов в воде основное их количество будет находиться в виде грубых эмульсий – крупных капель. Также образованию такого рода эмульсий способствует отсутствие в стоках стабилизирующих веществ. При низких концентрациях нефтепродуктов в сточных водах, а также при наличии стабилизирующих веществ практически все нефтепродукты находятся в тонкоэмульгированном состоянии. Следует отметить, что образование тонких эмульсий происходит чаще всего в результате перекачки и движения нефтесодержащих вод в трубопроводах [1, 3].

К стабилизирующим веществам, вызывающим агрегативную устойчивость тонкоэмульгированных нефтепродуктов, относят используемые на производстве для приготовления технологических растворов анионными и неионогенными ПАВ, высокомолекулярные органические соединения. Также ПАВ могут попадать в сточные воды после применения для каких-либо других технологических целей. Стабилизирующее действие на нефтепродукты могут оказывать также содержащиеся в сточной воде твердые коллоидные примеси [1, 3].

Наиболее простым и распространенным способом выделения из сточных вод неэмульгированных и грубоэмульгированных нефтепродуктов, которые под действием гравитационной силы из-за разности плотностей воды и нефтепродуктов, либо оседают на дне аппарата, либо всплывают на его поверхность, является процесс отстаивания. Его осуществляют в нефтеловушках различных конструкций [4].

Определить скорость разделения водонефтяной эмульсии по аналитическим формулам достаточно сложно. Для этого проводят экспериментальные исследования и строят кривые кинетики разделения –

зависимости эффекта осветления воды и относительного количества выделенных нефтепродуктов в процессе осаждения [5].

Измерение обводненности и расхода эмульсии, плотности воды и нефти позволяет определить агрегативную устойчивость водонефтяных эмульсий. От плотности нефтепродуктов также зависит и их крупность. Для более точного определения агрегативной устойчивости водонефтяных эмульсий необходимо знать дисперсный состав эмульсии или распределение нефти по размерам капель [3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперимент проводился в соответствии с ОСТ 39-232-89 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение размера частиц эмульгированной нефти» колориметрическим методом на модельной водонефтяной эмульсии. Для ее создания бралась дистиллированная вода и нефть Ромашкинского месторождения плотностью $\rho=908$ кг/м³, вязкостью $\eta_{20}=33,8$ сПз. Концентрацию нефти в эмульсии изменяли от 10–30% об. Эмульсия готовилась пропеллерной мешалкой с частотой вращения 1500 об/мин и временем перемешивания 10 минут.

В основу колориметрического метода положен седиментационный анализ всплывших эмульгированных частиц нефти в цилиндрах Спильнера с последующим фотоколориметрированием слитого экстракта. В качестве экстрагента использовался толуол [6].

Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности седиментационной очистки представлены на рисунке 1.

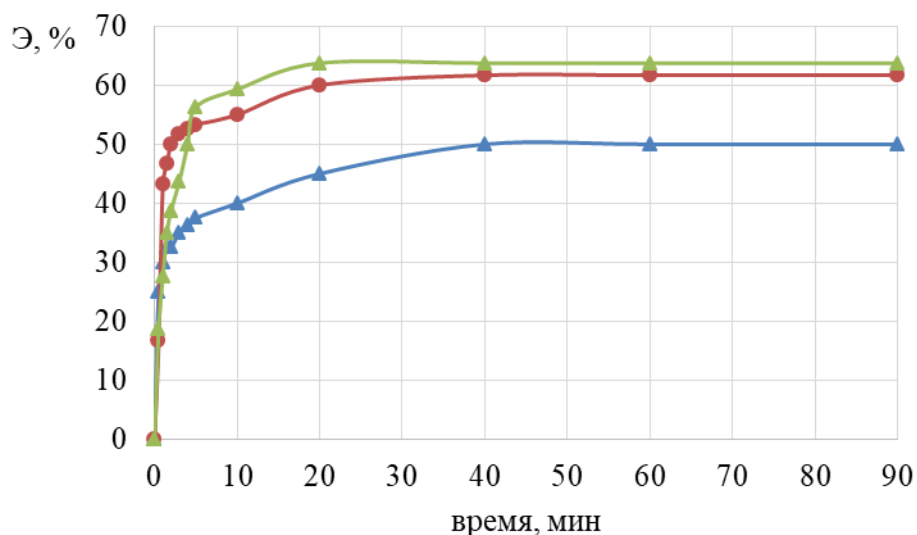


Рис. 1. Эффективность осаждения нефти при начальном содержании: ▲ – 10 % об., ● – 20 % об., ■ – 30 % об.

Fig. 1. Efficiency of oil deposition at initial content: ▲ – 10 %, ● – 20 %, ■ – 30 %.

Для оценки зависимости плотности и вязкости эмульсий от концентрации нефти в воде были исследованы ее реологические свойства. Измерение плотности проводилось весовым методом и ареометром типа АН. Измерение

вязкости осуществлялось в вискозиметре конструкции Энглера ВУ-М-ПХП с дальнейшим пересчетом условной вязкости в динамическую. Результаты представлены на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что плотность эмульсии с увеличением концентрации нефти уменьшается незначительно. Значения динамической вязкости при концентрации нефти, начиная с 5% об. резко увеличиваются.

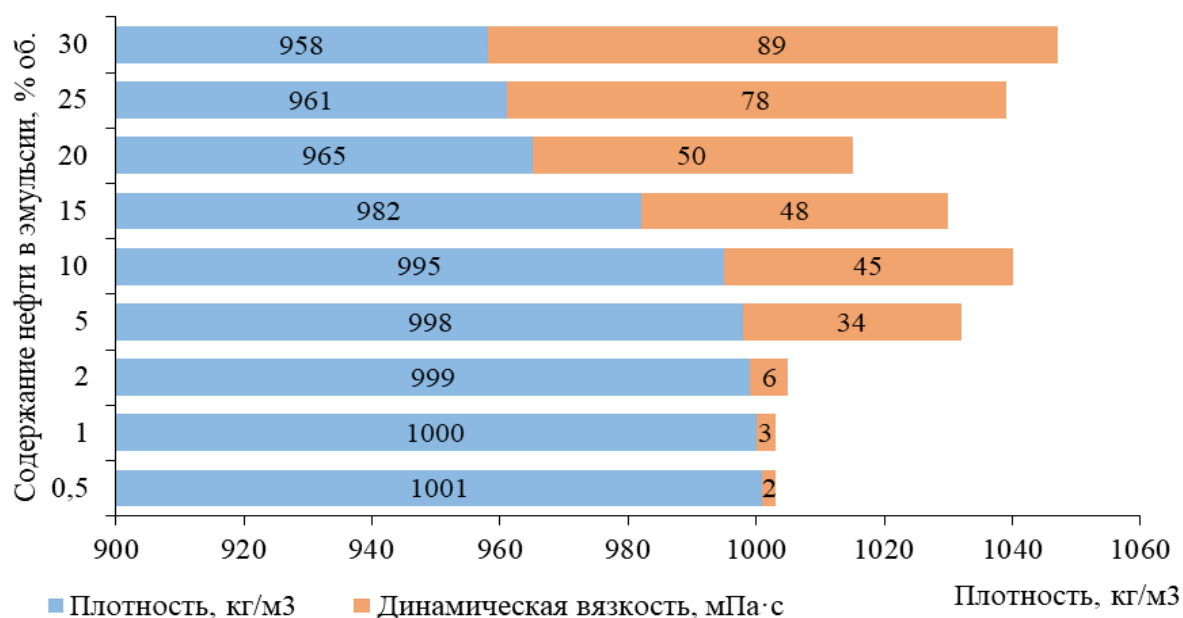


Рис. 2. Изменения плотности и вязкости эмульсии в зависимости от содержания в ней нефти.
Fig. 2. Changes in emulsion density and viscosity depending on oil content.

Такой экстремальный характер реологической кривой наблюдается в нефтедобыче и объясняется тем, что частицы дисперсной фазы становятся плотно прижатыми друг к другу и сливаются в сплошную среду [7]. Полученные данные по значениям плотности и вязкости в дальнейшем были использованы при седиментационном анализе.

Остающиеся в очищаемых водах после прохождения отстойника-нефтеловушки нефтепродукты можно условно отнести к тонкоэмульгированным, для очистки которых широко применяются безреагентные процессы. Как правило, безреагентные методы очистки не обеспечивают получение очищенных вод с качеством, допускающим их сброс в водоёмы, требуя более глубокие методы очистки. Но в то же время, очищенные до такого качества воды вполне могут быть использованы в водооборотных системах [1].

Для получения очищенных вод с допустимой для сброса в водоёмы концентрацией нефтепродуктов в настоящее время находит широкое применение метод сорбционной очистки, характеризующийся высокой степенью очистки, эксплуатационной надежностью и относительной простотой аппаратного оформления.

В наши дни для ликвидации разливов нефти производится или используется более двухсот сорбентов различной природы (минеральные и

органические, естественного или искусственного происхождения), причем их номенклатура постоянно расширяется.

Качество сорбентов определяется, прежде всего, их емкостью по отношению к нефти и нефтепродуктам, степенью гидрофобности, плавучестью после сорбции нефти, возможности десорбции нефти, регенерации или утилизации сорбента. В сложившихся макроэкономических условиях целесообразно использовать в качестве сорбентов природные материалы и отходы производств промышленных предприятий, так как такие сорбенты относительно дешевы и многие обладают достаточно высокими сорбционными свойствами по отношению к углеводородам [2, 8–11].

В работе были исследованы сорбционные свойства материалов органической природы: древесные опилки и торф. Данные виды сорбентов являются наиболее перспективными в связи с возможностью их утилизации путем сжигания и получения дополнительного количества тепловой энергии [12, 13]. Оценка нефтеемкости оценивалась относительно водонефтяных эмульсий согласно ГОСТ 33627-2015 [14].

Достоинством торфа как сорбента при очистке сточных вод промышленных предприятий является дешевизна, доступность. В работе исследовались верховой торф водной влажности ($W=67\%$) из месторождений РТ и мелкоразмерные древесные отходы – древесные опилки ($W=10\%$).

Эффективность очистки в статических условиях определялась при контакте навески сорбента (20 г) с раствором модельной смеси – воды и нефти из Ромашкинского месторождения в соотношении 3:1 (100 мл) через определенный интервал времени (0 – 20 часов). Результаты представлены на рисунке 3.

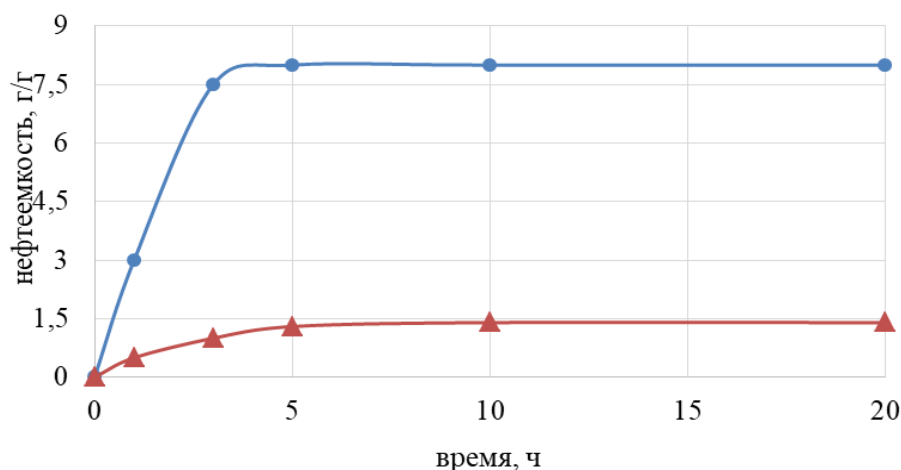


Рис. 3. Зависимость нефтеемкости различных сорбентов в зависимости от времени контакта: ● – древесные опилки, ▲ – торф.

Fig. 3. Dependence of oil capacity of different sorbents depending on contact time: ● – sawdust, ▲ – peat.

Полученные результаты позволяют заключить следующее. Лучшие результаты по сорбционной емкости (8 г/г) получены при использовании древесных опилок. Торф поглощает нефть в количестве 1,5 г/г, такие низкие значения нефтеемкости могут быть объяснены высокой влажностью

исследуемого образца. Литературные данные и ранние исследования автора показывают, что торф в воздушно-сухом состоянии способен поглотить порядка 4–5 г/г нефти [8, 12, 15]. Поэтому для увеличения сорбционной емкости по отношению к нефти данные материалы необходимо высушить, при этом появляются дополнительные затраты электроэнергии. Для сушки материалов может быть использована теплота уходящих газов, образующихся при утилизации отработанных материалов термическим способом.

Следует отметить, что основная масса нефти поглощается исследованными сорбентами в течение первых 5 часов контакта, далее этот процесс протекает менее интенсивно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Скорость разделения воды и нефтепродуктов в поле гравитации определяют по закону Стокса.

Закон Стокса справедлив для устойчивого состояния потока топлива, т. е. для случая, когда скорость потока равномерна, а ускорение равно нулю. Однако на границе раздела жидкостей вследствие поверхностного взаимодействия между молекулами воды и топлива возникают перемещения воды внутри капли. Также факторами, влияющими на эффективность обезвоживания, являются вязкость и плотность топлива: чем выше вязкость и плотность, тем ниже скорость осаждения капли.

Отсюда следует, что наибольшее влияние на скорость осаждения воды в топливе оказывает диаметр капли.

Определим характеристические параметры исследуемой пробы сточной воды уравнения Стокса:

$$K = \sqrt{\frac{9\nu_1\rho_1}{2 \cdot 2,49(\rho_2 - \rho_3)g}},$$

где ν_1 – кинематическая вязкость сточной воды, $10^{(-6)}$ м²/с; ρ_1 – плотность сточной воды, кг/м³; ρ_2, ρ_3 – соответственно плотность дисперсной среды и фазы, кг/м³; g – ускорение свободного падения; 2,49 – коэффициент, учитывающий состояние системы нефть–вода, влияние присутствующих ПАВ на форму, размер и концентрации дисперсной фазы.

Определим расчетный радиус частиц нефти (r_i), всплывших за период времени отстоя (τ_i) в цилиндрах Спильнера, по формуле:

$$r_i = K \sqrt{\frac{H}{\tau_i}},$$

где H – высота столба воды в цилиндре Спильнера, м; τ_i – продолжительность отстоя сточной воды в цилиндрах Спильнера [6].

По произведенным расчетам построили зависимости расчетного радиуса частиц нефти от их времени всплытия (рис. 4).

Как видно из полученных зависимостей, представленных на рисунках 1 и 2, характер всплытия частиц нефти в диапазоне концентраций 10–30% об. не зависит от ее начальной концентрации в сточной воде. Процесс отстаивания широко применяется на первом этапе, он достаточно прост, однако обладает

низкими значениями эффективности очистки – 40–60%. Также необходимо отметить, что при низких значениях концентрации нефтепродуктов и, следовательно, малого размера частиц нефтепродуктов, продолжительность разделения таких эмульсий может достигать бесконечности. Поэтому отстаивание нецелесообразно проводить более 1–1,5 часов [4, 5, 16].

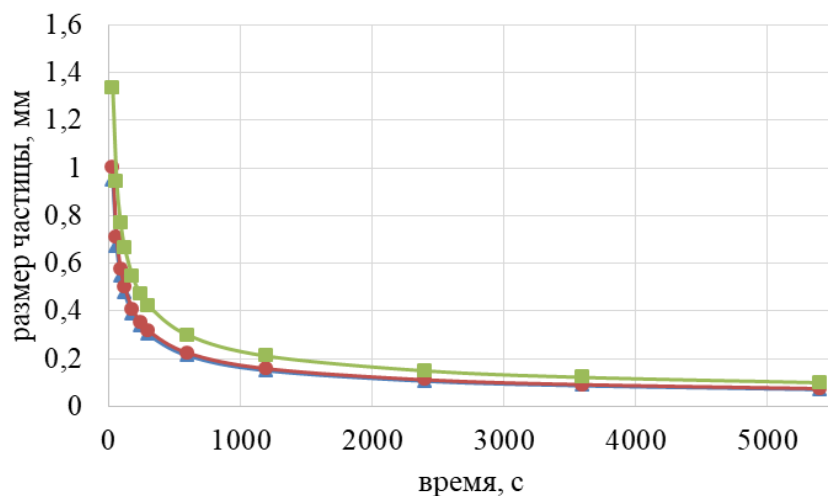


Рис. 4. Зависимость расчетного размера частиц нефти от времени всплытия: ▲ – 10 % об., ● – 20 % об., ■ – 30 % об.

Fig. 4. Dependence of design oil particle size on surfacing time: ▲ – 10 %, ● – 20 %, ■ – 30 %.

Скорость и время осаждения капли воды определяются напряжённостью гравитационного поля, т. е. плотностью и вязкостью воды и нефти, а также размерами капли. Поскольку напряжённость гравитационного поля в рассматриваемом случае постоянна, следовательно, скорость и время осаждения зависят от температуры нефти, размеров ее капель и конструктивных особенностей отстойников. Поэтому, чтобы увеличить эффективность очистки необходимо изменять либо конструкционные особенности отстойника-нефтеловушки, либо изменять температуру водонефтяной эмульсии, либо применять химические соединения – деэмульгаторы.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы. Для получения воды с показателями качества, отвечающими нормативным требованиям сброса их в водоемы или в городские водоотводящие сети, применение отдельных методов очистки невозможно. Поэтому технологическая схема очистки сточных вод предусматривает нескольких последовательных стадий, на каждой из которой происходит отделение нефтепродуктов определенной степени крупности. Первым этапом всегда должна быть предочистка от грубоэмульгированных нефтепродуктов, далее следовать этап основной очистки и в заключении – этап доочистки от растворенных нефтепродуктов [17].

Предварительная очистка сточных вод, как правило, проводится в аппаратах, действие которых основано на разделении эмульсии вследствие разности плотностей воды и нефтепродуктов, – нефтеловушках. Если в водах присутствуют также взвешенные вещества, могут применяться

комбинированные установки – отстойники-нефтеловушки. Также в таких сооружениях можно проводить процесс интенсификации путем добавления деэмульгаторов [16].

На основном этапе целесообразно использовать безреагентную очистку на сорбционном фильтре, загруженном одним из рассмотренных выше сорбционных материалов. Преимуществом данных фильтров является то, что в них отсутствует необходимость регенерации их фильтрующих свойств путем периодической промывки фильтрующей загрузки. Данные сорбционные материалы утилизируют термическим методом, причем теплота уходящих газов может быть использована для просушки этих материалов до воздушно-сухого состояния.

Кроме того, по данной схеме очищенные воды могут быть использованы в водооборотных системах различных производств, т.к. не требуются столь низкие концентрации нефтепродуктов, как при сбросе в водоемы или системы коммунальной канализации.

Таким образом, для очистки сточных вод от нефтепродуктов может быть реализована следующая схема очистки, позволяющая использовать их в водооборотных системах различных производств (рис. 5).

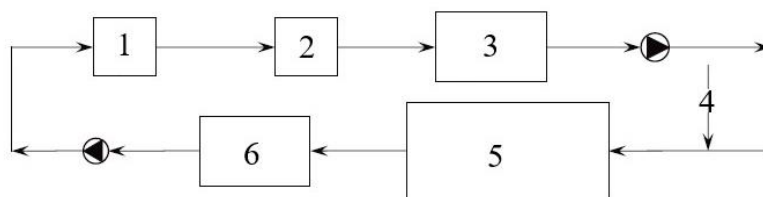


Рис. 5. Принципиальная схема очистки сточных вод от нефтепродуктов: 1 – отстойник-нефтеловушка, 2 – сорбционный фильтр, 3 – резервуар очищенной воды, 4 – подпитка, 5 – производство, 6 – резервуар-накопитель.

Fig. 5. Flow diagram of waste water treatment from oil products: 1 – sump, 2 – sorption filter, 3 – treated water tank, 4 – adding water, 5 – production, 6 – storage tank.

Данная схема безнапорная, для предотвращения дополнительного механического эмульгирования нефтепродуктов в ней не применяются промежуточные перекачки.

Также в зависимости от начальной концентрации нефтепродуктов в воде схема может быть доработана до сброса в природные водоемы путем установки сорбционного фильтра последовательно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в связи с неуклонным ростом промышленного производства охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов приобретают исключительное значение. Эта тенденция сохранится и в обозримом будущем, так как вода – один из самых важных компонентов окружающей среды, от которого зависит жизнь всего живого на нашей планете.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

– Результаты проведенных реологических исследований водонефтяной эмульсии были использованы в дальнейших расчетах. Реологическая кривая зависимости содержания нефти в водонефтяной эмульсии носит экстремальный характер;

– На основании проведенных экспериментальных исследований по оценке эффективности седиментационной очистки был проведен расчет размера частиц эмульгированной нефти. Данный эксперимент показал, что характер всплытия частиц нефти не зависит от ее начальной концентрации в сточной воде, эффективность отстаивания как метода разделения водонефтяной эмульсии при любой начальной концентрации нефти не превышает значений порядка 40 – 60%;

– Для реализации сорбционного метода очистки сточных вод, содержащих нестабилизированные тонкоэмульгированные нефтепродукты, были изучены сорбционные свойства торфа и древесных опилок. Получены зависимости нефтеемкости данных сорбентов от времени контакта, определено оптимальное время контакта сорбентов с нефтью. Показано, что наилучшие результаты получены при использовании в качестве сорбентов древесных опилок;

– Предложена схема очистки сточных вод от нефтепродуктов, по которой очищенные воды могут быть направлены в водооборотные системы различных производств, т.к. не требуются столь низкие концентрации нефтепродуктов, как при сбросе в водоемы или системы коммунальной канализации.

Таким образом, представленные результаты могут быть использованы для разработки технологических схем, которые учитывают многофазность и многокомпонентность содержащихся в воде нефти и нефтепродуктов и позволяют использовать очищенную воду в водооборотных схемах, а также при необходимости такую схему можно доработать для получения очищенных вод с нормами качества, позволяющими сбрасывать их в природные водоемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS:

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы:

1. Анапольский В.Н., Прокопьев К.Л., Олиферук С.В., Романенко А.П. (2007). Актуальные проблемы очистки нефтесодержащих сточных вод. *С.О.К. – Сантехника. Отопление. Кондиционирование*, <https://www.c-o-k.com.ua/content/view/1072/>
2. Yu, L., Han, M., & He, F. (2017). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, 1913–1922. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
3. Келбалиев Г.И., Рзаев Аб.Г., Расулов С.Р., Сулейманов Г.З., Гусейнова Л.В. (2015). Процессы агрегирования и коагуляции частиц асфальтенов в нефти и нефтяной эмульсии.

Теоретические основы химической технологии, 49(3), 239–246.

<https://doi.org/10.7868/S0040357115030057>

4. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Балясина Д.А., Капустина Л.В. (2010). Исследование динамики процесса отстаивания водонефтяных эмульсий. *Известия Томского политехнического университета*, 317(3), 54–57
5. Дремичева Е.С., Шамсутдинов Э.В. (2018). Интенсификация седиментационной очистки сточных вод от нефтепродуктов. *Вода и экология: проблемы и решения*, 1(73), 3–8. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.23.1.3-8>
6. ОСТ 39-232-89 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение размера частиц эмульгированной нефти». <https://docplan.ru/Data1/51/51601/index.htm#i45546>
7. Романова Н.А., Алиев З.З., Буранчин А.Р. (2009). Вязкость водонефтегазовой эмульсии и ее влияние на эффективность работы глубиннонасосных установок. *Нефтегазовое дело*, 7(1), 43–48.
8. Дремичева Е.С. (2017). Эффективность сорбционных материалов для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, 1, 35–39
9. Фоменко А.И., Соколов Л.И. (2015). Сорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов. *Экология и промышленность России*, 19(5), 8–12. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-5-8-12>
10. Ким В. (2020). Применение искусственных и природных сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов. *Водоочистка*, 4, 28–31
11. Frost, R., Carmody, O., Xi, Yu., Kokot, S. (2007). Adsorption of hydrocarbons on organo-clays – implications for oil spill remediation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 305(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.09.032>
12. Дремичева Е.С. (2020). Энергетические свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами. *Надежность и безопасность энергетики*, 13(2), 105–109. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-105-109>
13. Филина Н.А. (2013). Определение теплотворной способности древесного опила и гранул пропитанных нефтепродуктами. *Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая*, 1, 466–471.
14. ГОСТ 33627-2015 «Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов». <https://docs.cntd.ru/document/1200133296>
15. Селянина С.Б., Орлов А.С., Пономарева Т.И., Труфанова М.В., Ярыгина О.Н., Соколова Т.В., Сосновская Н.Е., Пехтерева В.С. Сорбционные свойства верхового торфа Прибеломорской провинции (Россия) (2019). *Природопользование*, 1, 211–218
16. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Данг С.В., Харьков В.В. (2020). Интенсификация очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов в отстойниках. *Вестник Технологического университета*, 23(6), 64–67
17. Асадов М.М., Алиев Э.Ф. (2021) Модифицирование технологической схемы очистки сточной воды от нефтепродуктов. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 1, 37–43. <https://doi.org/10.37474/0365-8554/2021-1-37-43>

References:

1. Anapolsky, V.N., Prokopiev, K.L., Oliferuk, S.V., & Romanenko A.P. (2007). Topical problems of oil-containing waste water treatment. S.O.K. – *Santekhnika. Otoplenie. Kondicionirovanie = P.H.C. – Plumbing. Heating. Conditioning*. <https://www.c-o-k.com.ua/content/view/1072/> (in Russ).
2. Yu L., Han M., & He F. (2017). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, 1913–1922. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
3. Kelbaliev, G.I., Suleimanov, G.Z., Rzaev, A.G., Rasulov, S.R., & Guseinova L.V. (2015) Processes of the aggregation and coagulation of asphaltene particles in petroleum and oil

emulsion. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 49(3), 225–232.

<https://doi.org/10.1134/S0040579515030057>

4. Kravtsov, A.V., Usheva, N.V., Moises, O.E., Kuzmenko, E.A., Balyasina, D.A., & Kapustin, L.V. (2010). Study of the dynamics of the process of settling water-oil emulsions. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = News of Tomsk Polytechnic University*, 317(3), 54–57 (in Russ).
5. Dremicheva, E.S. & Shamsutdinov, E.V. (2018). Intensification of sedimentation treatment of waste water from oil products. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya = Water and ecology: problems and solutions*, 1(73), 3–8. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.23.1.3-8> (in Russ).
6. OST 39-232-89 «Water for oil formation flooding. Determination of particle size of emulsified oil». <https://docplan.ru/Data1/51/51601/index.htm#i45546> (in Russ).
7. Romanova, N.A., Aliyev, Z.Z., & Buranchin, A.R. (2009) Viscosity of water-oil-gas emulsion and its effect on the efficiency of deep-water pump plants. *Neftegazovoe delo = Oil and gas business*, 7(1), 43–48 (in Russ).
8. Dremicheva, E.S. (2017). Efficiency of sorption materials for collecting oil products from the surface of reservoirs. *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse = Environmental protection in the oil and gas complex*, 1, 35–39. (in Russ).
9. Fomenko, A.I. & Sokolov, L.I. (2015) Sorption treatment of waste water from oil products. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*, 19(5), 8–12. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-5-8-12> (in Russ).
10. Kim, V., (2020). Application of artificial and natural sorbents for treatment of waste water from petroleum products. *Vodoochistka = Water treatment*, 4, 28–31. (in Russ).
11. Frost, R., Carmody, O., Xi, Yu., & Kokot, S. (2007). Adsorption of hydrocarbons on organo-clays - implications for oil spill remediation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 305(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.09.032>
12. Dremicheva, E.S. (2020). Energy properties of peat saturated with petroleum products. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*, 13(2), 105–109. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-105-109> (in Russ).
13. Filina, N.A. (2013). Determination of calorific value of wood saw and granules impregnated with petroleum products. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnologicheskaya = Works of the Volga State Technological University. Series: Technological*, 1, 466–471. (in Russ).
14. Selyanina, S.B., Orlov, A.S., Ponomareva, T.I., Trufanova, M.V., Yarygina, O.N., Sokolova, T.V., Sosnovskaya, N.E., & Pekhtereva, V.S. (2019). Sorption properties of the upper peat of Pribelomorsky province (Russia). *Prirodopol'zovanie = Environmental management*, 1, 211–218. (in Russ).
15. Standard method «Activated carbon. Standard test method for determination of sorbent performance of adsorbents». <https://docs.cntd.ru/document/1200133296> (in Russ).
16. Zinurov, V.E., Dmitriev, A.V., Sharipov, I.I., Dang, S.V., & Kharkov, V.V. (2020). Intensification of waste water treatment of thermal power plants from oil products in settling tanks. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the University of Technology*, 23(6), 64–67. (in Russ).
17. Asadov, M.M. & Aliyev, E.F. (2021). Modification of the process diagram for treatment of waste water from oil products. *Azerbajdzhanskoe neftyanoe hozyajstvo = Azerbaijan Oil Industry*, 1, 37–43. <https://doi.org/10.37474/0365-8554/2021-1-37-43> (in Russ).