

Научная статья  
УДК 621.6.033  
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-13-17>  
EDN BEBRTI

## **Модернизация оборудования первичной подготовки нефти**

---

**Юлия Сергеевна Феклунова<sup>✉</sup>, Elizaveta Дмитриевна Болдырева**

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, 1305julia@mail.ru<sup>✉</sup>*

---

**Аннотация.** Обозначена роль российской отрасли энергетики в современных условиях. Важную часть энергетики Российской Федерации составляет топливно-энергетический комплекс, основой которого является добыча нефти. Нефть в чистом виде содержит множество примесей (вода, песок, газ, кусочки породы и др.). Для того чтобы нефть соответствовала стандартам, ей необходимо пройти множество процессов переработки. Большую роль на этапе переработки нефти играют теплообменные аппараты. Отмечено, что в процессе работы в теплообменном оборудовании образуются накипь, различные отложения, загрязнения. За счет перечисленных образований теплообменник теряет свои нагревательные свойства, поэтому необходимо проводить своевременное очищение теплообменных устройств. Возможно предотвращать образование отложений, в частности методом ультразвука. Конструктивно ультразвуковая установка представляет собой генератор импульсов в комплекте с двумя магнитными преобразователями. При озвучивании нефтеводяной эмульсии ультразвуком происходит разрушение, раскалывание образующихся в нагреваемой эмульсии кристаллов солей жесткости. Ультразвук, распространяясь по поверхности, препятствует формированию на ней накипных отложений. Ультразвуковая обработка является наиболее эффективным методом регулирования реологических свойств тяжелых высоковязких нефтей как с технологической, так и с эколого-экономической точек зрения. Приведены результаты анализа ультразвукового метода, перечислены его достоинства и недостатки. Сделаны выводы о недостаточном количестве исследований сравнения ультразвуковой и термической обработки нефти и необходимости дальнейшего изучения применения ультразвукового метода для оборудования первичной подготовки нефти.

**Ключевые слова:** теплообменное оборудование, первичная подготовка нефти, защита теплообменного оборудования, ресурсосбережение

**Для цитирования:** Феклунова Ю. С., Болдырева Е. Д. Модернизация оборудования первичной подготовки нефти // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 2. С. 13–17. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-13-17>. EDN BEBRTI.

Original article

## **Modernization of primary oil treatment equipment**

---

**Yulia S. Feklunova<sup>✉</sup>, Elizaveta D. Boldyreva**

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, 1305julia@mail.ru<sup>✉</sup>*

---

**Abstract.** The role of the Russian energy industry in modern conditions is indicated. An important part of the energy sector of the Russian Federation is the fuel and energy complex, which is based on oil production. Oil in its pure form contains many impurities (water, sand, gas, pieces of rock, etc.). In order to meet the standards, oil needs to go through many refining processes. Heat exchangers play an important role at the stage of oil refining. It has been found that in the course of work scale, various deposits, pollution are formed in the heat-exchange equipment. Due to these formations, the heat exchanger loses its heating properties. It is possible to prevent the formation of deposits by using ultrasonic method. Structurally, the ultrasonic unit is a pulse generator with two magnetic transducers. When sonicating an oil-water emulsion with ultrasound, destruction occurs, splitting the crystals of hardness salts formed in the heated emulsion. Ultrasonic treatment, propagating over the surface, prevents the formation of scale deposits on it. Ultrasonic treatment is the most effective method for controlling the rheological properties of heavy high-viscosity oils from both technological and environmental and economic points of view. The results of the analysis of the ultrasonic method are presented, its advantages and disadvantages are listed. Conclusions are drawn about the insufficient num-

ber of studies comparing ultrasonic and thermal treatment of oil and the need for further study of the application of the ultrasonic method for primary oil treatment equipment.

**Keywords:** heat exchange equipment, primary oil treatment, protection of heat exchange equipment, resource saving

**For citation:** Feklunova Yu. S., Boldyreva E. D. Modernization of primary oil treatment equipment. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2023;2:13-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-13-17>. EDN BEBRTI.

### Введение

Направления, приоритеты и цели развития энергетики Российской Федерации, сформулированные в Распоряжении Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р [1], обусловлены задачами перехода к ресурсосберегающей и экологически чистой энергетике, а также повышения результативности и эффективности всех уровней управления в отраслях топливно-энергетического комплекса. В настоящий момент энергетика – это одна из базовых отраслей, которая обеспечивает страну всеми необходимыми энергетическими ресурсами. Данная область охватывает энергетические ресурсы, производство, преобразование, передачу, распределение, аккумулирование и потребление различных видов энергии. В свою очередь нефтегазовый сектор является главной составляющей энергетике страны.

Важным этапом после добычи нефти значится первичная подготовка нефти, которая происходит непосредственно на объектах добычи. Первичная подготовка нефти подразумевает такие процессы, как дегазация, стабилизация, обезвоживание и обессоливание. При качественной первичной подготовке нефти сырье практически не оказывает вредоносное влияние на технологическое оборудование.

### Материалы исследования

Современное нефтедобывающее и нефтеперерабатывающее предприятие – технически сложный комплекс технологических машин и оборудования. Неотъемлемая часть любого технологического процесса получения химических продуктов – теплообменные процессы (нагревание, охлаждение, испарение, конденсация). Процесс добычи и подготовки сырья включает несколько этапов, во многих из которых используются теплообменники. Оборудование, предназначенное для этой промышленности, должно соответствовать особым требованиям: быть способным работать при экстремальных давлениях и температурах, быть устойчивым к агрессивным средам, иметь компактные размеры, работать с двухфазными средами. Предприятия по добыче и переработке нефти и газа используют как кожухотрубное, так и пластинчатое теплообменное оборудование.

Добываемая на промыслах нефть содержит много примесей (вода, песок, газ, кусочки породы и т. д.). Для того чтобы подать это сырье в систему

магистральных нефтепроводов для дальнейшей транспортировки на нефтеперерабатывающие предприятия или на экспорт, ее необходимо предварительно довести до нужного уровня качества. Воды в промысловой нефти, особенно на старых месторождениях, может быть до 90, а иногда и до 98 %, что не соответствует необходимым требованиям к товарному сырью. Содержание воды в нефти нормируется по следующим причинам [2]:

- нефть с водой может образовывать эмульсии с высокой вязкостью, и транспортировка такой смеси по трубопроводам на большие расстояния является слишком энергозатратной;

- транспортировка вместе с нефтью пластовой воды является нерациональной, поскольку вода в этом случае выступает в качестве ненужного балласта;

- увеличение за счет такого балласта объемов прокачиваемых жидкостей приводит к повышению эксплуатационных затрат;

- при низких температурах окружающей среды вода, содержащаяся в нефти, имеет свойство кристаллизоваться, что значительно усложняет ее перекачку (забиваются фильтры, ломается насосное оборудование);

- в пластовой воде растворено значительное количество солей, вызывающих коррозионный износ труб и применяемого оборудования;

- в теплообменном оборудовании происходит отложение налета, это понижает коэффициент теплоотдачи.

Теплообменник – устройство, которое осуществляет теплообмен между двумя теплоносителями. В процессе нагрева образуются накипь, различные отложения, загрязнения. За счет образований теплообменник теряет свои нагревательные свойства, именно поэтому необходимо проводить своевременное очищение теплообменных устройств. На данный момент существует три метода очистки теплообменного оборудования:

- механический способ – механическое воздействие на аппарат;

- химический способ – очищение поверхности химическими растворами и растворимыми средствами;

- комбинированный способ – разборка теплового нагревателя, после чего применение химических средств.

Особого внимания заслуживают методы по предотвращению образований. Одним из таких

методов является ультразвук. Ультразвуковая технология отличается тем, что воздействует на образование и оседание накипи несколькими способами одновременно.

Во-первых, при озвучивании нефтеводной эмульсии ультразвуком происходит разрушение, раскалывание образующихся в нагреваемой эмульсии кристаллов солей жесткости. При контакте твердого тела с жидкостью накипь образуется на твердом теле. Под воздействием ультразвука происходит раскалывание кристаллов карбоната кальция, находящихся в эмульсии, их средние размеры уменьшаются с 10 до 1 микрона, увеличивается их количество и общая площадь поверхности. Под действием ультразвука в нефтеводной эмульсии резко (примерно в 1 000 раз) возрастает количество центров кристаллизации, что приводит к переносу процесса образования накипи с теплообменной поверхности в толщу эмульсии [3].

Во-вторых, ультразвук, распространяясь по поверхности, препятствует формированию на ней

накипных отложений. Если на теплообменной поверхности уже был слой накипи, то ультразвук разрушает его, что сопровождается отслоением и откалыванием кусочков накипи.

При значительной толщине слоя образованной ранее накипи существует опасность засорения и закупорки оборудования, поэтому одним из основных требований успешного применения ультразвуковой технологии является предварительная очистка от старого слоя накипных отложений.

Конструктивно ультразвуковая установка представляет собой генератор импульсов в комплекте с двумя магнитными преобразователями. Преобразователи крепятся к наружным поверхностям теплообменного аппарата в определенных точках с помощью электросварки, а генератор питается от электрической сети напряжением 220 В.

Достоинства и недостатки ультразвукового метода представлены в таблице.

#### Анализ ультразвукового метода

#### Analysis of the ultrasonic method

Достоинства	Недостатки
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обеспечение безаварийной эксплуатации теплообменного оборудования.</li><li>2. Не нуждается в приостановке процесса.</li><li>3. Сохранение проектной величины количества вырабатываемого тепла в течение всего срока эксплуатации.</li><li>4. Экономия средств на ремонт за счет исключения чисток или увеличения срока между плановыми чистками от накипи теплообменных аппаратов.</li><li>5. Экономия средств за счет уменьшения расходов на химреактивы для фильтров химической подготовки, их доставку и утилизацию после отработки.</li><li>6. Обеспечение экологической безопасности за счет исключения операции химической очистки от накипи с использованием вредных веществ и их последующей утилизации.</li><li>7. Разрушение сформировавшихся ранее отложений солей в течение 1–3 месяцев</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Отключение питания генератора при аварийных сбоях в электрической сети.</li><li>2. Сравнительно медленный процесс очистки трубок теплообменника от сильных отложений.</li><li>3. Невозможность очистки трубок, полностью забитых отложениями или имеющих локальную закупорку в виде пробок</li></ol>

Ультразвуковая обработка является наиболее эффективным методом регулирования реологических свойств тяжелых высоковязких нефтей как с технологической, так и с эколого-экономической точек зрения. Для увеличения нефтеотдачи большое внимание привлекают ультразвуковые технологии в связи с их простотой, меньшей стоимостью. Технология подтвердила улучшение показателей нефтедобычи на объектах.

Влияние ультразвуковой и термической обработки на вязкость, температуру застывания, плотность, кислотность, межфазное натяжение на границе «вода – нефть» и химический состав Усть-Тегусского месторождения (Россия) изучалось в работе [4]. Установлено, что вязкость обработанной ультразвуком нефти снизилась в 1,7 раза,

а температура застывания стала ниже на 32 °С по сравнению с аналогичными результатами для исходной нефти.

В работе [5] исследовано влияние интенсивной ультразвуковой обработки на реологические свойства нефти и ее продуктов. Реологические свойства контролировали в течение 10 дней после обработки ультразвуком. Установлено, что ультразвуковая обработка способна эффективно снижать вязкость нефти и тяжелых нефтепродуктов за период времени, достаточный для их добычи, а также для транспортировки на большие расстояния. В работе [6] установлено, что ультразвуковая обработка позволяет повысить извлечение на 50 %. Положительный эффект наблюдался в течение от 3 до 12 месяцев после обработки.

Следует отметить, что в работе [7] образцы нефти исследовались через 4 ч после ультразвуковой обработки. Авторы работы [7] установили, что вне зависимости от мощности акустического воздействия снижение вязкости может быть достигнуто только при применении сонохимической обработки (около 70 %). Ультразвуковая обработка в скважине приводит к снижению вязкости нефти и одновременно к увеличению нефтеотдачи. Оба эффекта были продемонстрированы в полевых опытах в Республике Татарстан: снижение вязкости на 16 % через 4 ч после обработки наблюдалось одновременно с увеличением извлечения масла на 26,5 %. Следовательно, нефть, которая подавалась в трубопровод вблизи скважины, была более горячей, а суммарное изменение вязкости было обусловлено двумя факторами: изменением реологических свойств нефти вследствие ультразвуковой

обработки и температурным фактором. Также были построены кривые текучести и вязкости через 24,5 ч после ультразвуковой обработки при температуре 293 К. Смешивание сверхтяжелой нефти с легкой, а также ультразвуковая обработка (время обработки: 5, 10, 15 и 20 мин) для снижения вязкости были исследованы в статье [8].

#### Заключение

Таким образом, структурно-реологические свойства нефтей аналогичного компонентного состава после ультразвуковой обработки изменяются неоднозначно. Кроме того, исследований, сравнивающих ультразвуковую и термическую обработку, очень мало, что подтверждает актуальность исследования ультразвукового метода в оборудовании первичной подготовки нефти, в частности в теплообменных аппаратах.

#### Список источников

1. Об Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения: 30.03.2023).
2. Абрютин Н. Н., Абушаева В. В. Современные методы исследования нефтей: справ.-метод. пособие / под ред. А. И. Богомолова, М. Б. Темяно, Л. И. Хотынцевой. Л.: Недра, 1984. 431 с.
3. Плисс А. А., Золотов В. П., Якимов А. В. Влияние ультразвука на физико-химические свойства нефти // Интервал. 2007. № 3. С. 36–39.
4. Муллакаев М. С., Асылбаев Д. Ф., Прачкин В. Г., Волкова Г. И. Исследование влияния ультразвуковой и термической обработки на реологические свойства нефти Усть-Тегусского месторождения // Хим. и нефтегазов. машиностроение. 2013. № 9. С. 11–13.
5. Муллакаев М. С., Абрамов В. О., Волкова Г. И. Исследование влияния ультразвукового воздействия

и химических реагентов на реологические свойства вязких нефтей // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2010. № 5. С. 31–34.

6. Abramov V. O., Mullakaev M. S., Abramova A. V., Esipov I. B., Saltikov Y. A., Mason T. J. Ultrasonic technology for enhanced oil recovery from failing oil wells and the equipment for its implementation // Ultrasonics Sonochemistry. 2013. V. 20. Iss. 5. P. 1289–1295.

7. Abramov V. O., Abramova A. V., Bayazitov V. M., Mullakaev M. S., Marnosov A. V., Ildiyakov A. V. Acoustic and sonochemical methods for altering the viscosity of oil during recovery and pipeline transportation // Ultrasonics Sonochemistry. 2017. V. 35. P. 389–396.

8. Rahimi M. A., Ramazani A. S. A., Alijanvand H. A., Ghazanfari M. H., Ghanavati M. Effect of ultrasonic irradiation treatment on rheological behaviour of extra heavy crude oil: A solution method for transportation improvement // Canadian Journal of Chemical Engineering. 2017. N. 95. P. 83–91.

#### References

1. *Ob Energeticheskoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2035 goda: Rasporiazhenie Pravitel'stva RF ot 09.06.2020 № 1523-r* [On the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation dated June 9, 2020 No. 1523-r]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (accessed: 30.03.2023).
2. Abriutina N. N., Abushaeva V. V. *Sovremennyye metody issledovaniya neftei: spravochno-metodicheskoe posobie* [Modern methods of oil research: reference manual]. Pod redaktsiei A. I. Bogomolova, M. B. Temianko, L. I. Khotyntsevoi. Leningrad, Nedra Publ., 1984. 431 p.
3. Pliss A. A., Zolotov V. P., Iakimov A. V. Vliianie ul'trazvuka na fiziko-khimicheskie svoistva nefi [Influence of ultrasound on physical and chemical properties of oil]. *Interval*, 2007, no. 3, pp. 36-39.
4. Mullakaev M. S., Asylbaev D. F., Prachkin V. G., Volkova G. I. *Issledovanie vliianiia ul'trazvukovoi i termicheskoi obrabotki na reologicheskie svoistva nefi Ust'-*

Tegusskogo mestorozhdeniia [Studying influence of ultrasonic and thermal treatment on rheological properties of oil from Ust-Tegusskoe field]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, 2013, no. 9, pp. 11-13.

5. Mullakaev M. S., Abramov V. O., Volkova G. I. *Issledovanie vliianiia ul'trazvukovogo vozdeistviia i khimicheskikh reagentov na reologicheskie svoistva viazkikh nefei* [Studying influence of ultrasonic treatment and chemical reagents on rheological properties of viscous oils]. *Oborudovanie i tekhnologii dlia neftegazovogo kompleksa*, 2010, no. 5, pp. 31-34.

6. Abramov V. O., Mullakaev M. S., Abramova A. V., Esipov I. B., Saltikov Y. A., Mason T. J. Ultrasonic technology for enhanced oil recovery from failing oil wells and the equipment for its implementation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2013, vol. 20, iss. 5, pp. 1289-1295.

7. Abramov V. O., Abramova A. V., Bayazitov V. M., Mullakaev M. S., Marnosov A. V., Ildiyakov A. V. Acoustic and sonochemical methods for altering the viscosity of oil

during recovery and pipeline transportation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, vol. 35, pp. 389-396.

8. Rahimi M. A., Ramazani A. S. A., Alijanvand H. A., Ghazanfari M. H., Ghanavati M. Effect of ultrasonic irradiation

treatment on rheological behaviour of extra heavy crude oil: A solution method for transportation improvement. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2017, no. 95, pp. 83-91.

Статья поступила в редакцию 31.03.2023; одобрена после рецензирования 10.04.2023; принята к публикации 10.05.2023  
The article was submitted 31.03.2023; approved after reviewing 10.04.2023; accepted for publication 10.05.2023

### Информация об авторах / Information about the authors

**Юлия Сергеевна Феклунова** – кандидат технических наук; доцент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; 1305julia@mail.ru

**Yulia S. Feklunova** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; 1305julia@mail.ru

**Елизавета Дмитриевна Болдырева** – студент, направление «Технологические машины и оборудование»; Астраханский государственный технический университет; 1305julia@mail.ru

**Elizaveta D. Boldyreva** – Student, training area “Technological Machines and Equipment”; Astrakhan State Technical University; 1305julia@mail.ru

