

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-842-848

IMPROVING THE PROPERTIES OF MARINE FUEL BY ULTRASONIC PROCESSING

N. A. Pivovarova, Yu. Sh. Bayramova, G. V. Vlasova

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

The economic performance of ship power plants is directly dependent on fuel consumption. Consumption is determined by the completeness of fuel combustion, which is influenced by many factors, one of which is the component composition. High molecular weight compounds, resins and asphaltenes contained in marine fuels are poorly flammable. They also form a coarse dispersed phase in the fuel, which complicates the process of hydrocarbon oxidation and leads to a decrease in its efficiency. It is known that ultrasonic influences increase the degree of fuels dispersion. The purpose of the work is to identify the regularities of ultrasound effect on the physicochemical indicators of distillate marine fuel of the DMA brand, which determine its operational properties: flammability, combustibility and pumpability. Experimental studies on the processing of marine fuel are carried out on ultrasonic devices LUK-0.125/50-O and Volna UZTA-0.4/22–014 at a frequency of 50 and 22 kHz, respectively. For the theoretical substantiation of the observed effects, changes in the dispersed and structural-group composition of marine fuel are studied. The analysis of indicators in accordance with the regulatory documents is carried out. The greatest changes in all studied parameters are noted at an ultrasonic vibration frequency of 50 kHz. It is found that, in comparison with the initial sample, the kinematic viscosity decreases by 15 % after ultrasound exposure. The fuel density decreases by 0.002 kg / m³, the flash point of the fuel drops by 5 °C, and the cetane number shows a tendency to decrease by 2 points. The average particle size of the dispersed phase decreases by 12 %. An explanation for the improvement of the investigated fuel indicators on the basis of an increase in its degree of dispersion and redistribution of structural-group components is proposed. Ultrasonic treatment of marine fuel (50 kHz, 100 W, 43 s), carried out before feeding it to the engine on the fuel line in front of the filter and high-pressure pumps, can be used to improve the operational properties of the fuel and, consequently, reduce its consumption.

Keywords: ultrasonic treatment, properties of marine fuel, fuel consumption, oil dispersed system, degree of fuel dispersion.

For citation:

Pivovarova, Nadezhda A., Yulia Sh. Bayramova, and Galina V. Vlasova. "Improving the properties of marine fuel by ultrasonic processing." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.6 (2021): 842–848. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-842-848.

УДК 665.6/.7+665.753.4+66.084.8+66.086.4

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ СУДОВОГО ТОПЛИВА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ

Н. А. Пивоварова, Ю. Ш. Байрамова, Г. В. Власова

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
Астрахань, Российская Федерация

Исследованы экономические показатели работы судовых энергетических установок, зависящие от расхода топлива. Известно, что расход топлива определяется полнотой его сгорания, на которую оказывает существенное влияние компонентный состав. Высокомолекулярные соединения, смолы и асфальтены, содержащиеся в судовых топливах, обладают плохой воспламеняемостью, формируя грубую дисперсную фазу в топливе, которая затрудняет процесс окисления углеводородов и приводит к снижению его экономичности. Известно, что ультразвуковые воздействия способствуют увеличению степени дисперсности топлив. Целью работы является выявление закономерностей действия ультразвука на физико-химические показатели дистиллятного судового топлива марки DMA, определяющие его эксплуатационные свойства: воспламеняемость, горючесть и прокачиваемость. Экспериментальные исследования по обработке судового топлива

проводили на ультразвуковых аппаратах ЛУК-0,125/50- О и Волна УЗТА-0,4/22–014 при частоте 50 и 22 кГц соответственно. Для теоретического обоснования наблюдаемых эффектов исследовали изменения дисперсного и структурно-группового состава судового топлива. Анализ показателей проводили в соответствии нормативными документами. Наибольшие изменения всех исследованных показателей были отмечены при частоте ультразвуковых колебаний 50 кГц. Установлено, что по сравнению с исходным образцом после воздействия ультразвука кинематическая вязкость понизилась на 15 %. Плотность топлива уменьшилось на 0,002 кг/м³, температура вспышки топлива понизилась на 5 °С, а цетановое число показало тенденцию к понижению на два пункта. Средний размер частиц дисперсной фазы уменьшился на 12 %. Предложено объяснение улучшения исследованных показателей топлива на основании повышения его степени дисперсности вследствие перераспределения структурно-групповых компонентов. Ультразвуковая обработка судового топлива (50 кГц, 100 Вт, 43 с), осуществляемая перед подачей его в двигатель на топливопроводе перед фильтром и насосами высокого давления, может быть использована для улучшения эксплуатационных свойств топлива и, следовательно, снижения его расхода.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, свойства судового топлива, расход топлива, нефтяная дисперсная система, степень дисперсности топлива.

Для цитирования:

Пивоварова Н. А. Улучшение свойств судового топлива ультразвуковой обработкой / Н. А. Пивоварова, Ю. Ш. Байрамова, Г. В. Власова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 6. — С. 842–848. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-842-848.

Введение (Introduction)

Стоимость топлива является одной из основных статей затрат судоходных компаний (например, в себестоимости добываемой рыбопромысловым флотом рыбы она составляет около 20–40 %). Высокое потребление топлива ухудшает экономические показатели работы двигателя и увеличивает транспортные расходы [1]. Расход и полнота сгорания топлива определяются многими факторами, одним из которых является его компонентный и химический состав. Высокомолекулярные и полиароматические соединения, смолы и асфальтены, содержащиеся в судовых топливах повышенной плотности, обладают плохой воспламеняемостью и низкой скоростью горения. Они также формируют дисперсную фазу в топливе, которая, по мере увеличения размеров частиц, все больше затрудняет процесс окисления углеводородов, приводит к увеличению температуры отработанных газов двигателя и снижению его экономичности, а также ухудшению экологической обстановки.

Поиск и разработка новых эффективных технологических решений по обработке топлива и подготовке его к сгоранию (в том числе повышение дисперсности топлива) позволят повысить экономическую эффективность использования судовых двигателей и увеличить межремонтный период, снизить вредное влияние на окружающую среду, что является актуальной задачей, имеющей не только научное, но и практическое значение. Ранее в работах [2] и [3] была исследована эффективность низкоэнергетической технологии воздействия на топливо посредством постоянного магнитного поля в динамическом режиме. Показано, что преобразования дисперсного состава дизельных различного химического и дисперсного состава способствовали полноте сгорания, снижению расхода и уменьшению вредных выбросов с отработавшими газами.

Примерами низкоэнергетических технологий являются также ультразвуковые и кавитационные воздействия на нефтяные дисперсные системы. Установлено, что механические воздействия (ультразвук, кавитация, вибрация и т. п.), так же, как и магнитное поле, изменяют состав и структурно-механические свойства нефтепродуктов, оказывают влияние на процесс фазообразования [3]–[5]. При ректификации углеводородного сырья эти изменения фазового и дисперсного состава приводят к повышению выхода светлых нефтепродуктов в процессе первичной переработки нефти как при ультразвуковой, так и при кавитационной обработке [3].

Кавитационные воздействия для улучшения горения жидкого углеводородного топлива в устройствах для получения тепловой и механической энергии исследованы в работе [6]. Алгоритм испытаний заключался в следующем: сначала определяли количественное содержание компонентов, затем подогревали топливо до 35–40 °С, устанавливали скорость потока в пределах 20–40 см/с, прокачивали топливо через комбинированный универсальный статический смеситель-активатор,

где в первой секции вихревыми винтовыми потоками разрушаются кластеры топлива, в четырех кавитационных камерах второй секции предварительно диспергируются его частицы, а в третьей секции они окончательно диспергируются решетчатым фильтром, в четвертой секции пульсирующий турбулентный поток переводили в ламинарный с выровненной эпюрой скоростей, выдерживали обработанное топливо в емкости 50–60 дней, повторно определяли содержание компонентов и при выявлении не менее 20 % легких компонентов выдавали топливо в качестве товарного продукта [6]. Следует отметить многоступенчатость, непростое техническое оформление и значительную продолжительность такого вида кавитационной обработки.

Авторами [7] была проведена серия экспериментов, направленных на повышение качества сгорания дизельного топлива посредством ультразвуковой обработки на частоте 44 кГц (мощность 60 Вт). Динамическая вязкость дизельного топлива снизилась на 2 %, изменение плотности показало ее снижение с 830 кг/м³ до 828 кг/м³ через 30 с после обработки и до 825 кг/м³ после обработки в течение 60 с. Расход топлива на дизельном двигателе YANMAR 4TNV88-BGGE при оптимальном варианте подачи топлива в камеру снизился на 7,5–9 %.

Исследования по ультразвуковой обработке судовых топлив весьма немногочисленны, содержат неполную информацию по их свойствам и условиям обработки. Тем не менее есть основания полагать, что закономерности, наблюдаемые при ультразвуковой обработке дизельных топлив, будут также аналогично качественными и для дистиллятных судовых топлив. Однако утяжеление молекулярного и фракционного состава судовых топлив не может не оказать влияния на количественные результаты.

Целью настоящей работы является выявление закономерностей действия ультразвуковых колебаний при частотах 22 и 50 кГц и мощности 100 Вт на физико-химические показатели дистиллятного судового топлива марки DMA для улучшения его эксплуатационных свойств.

Методы и материалы (Methods and materials)

Обработку судового топлива проводили на ультразвуковых аппаратах ЛУК-0,125/50-О и Волна УЗТА-0,4/22–014 (ООО «Центр ультразвуковых технологий», г. Бийск). Устройство и принцип действия приведен в [8]. Частота ультразвуковых колебаний составляла 22 и 50 кГц соответственно. Мощность воздействия — 100 Вт, время пребывания топлива в зоне ультразвуковых колебаний — 43 ± 3 с.

В соответствии с ГОСТ 4.25–83 «Номенклатура показателей качества топлив. Показатели назначения» для исследования были выбраны следующие характеристики:

- кинематическая вязкость при температуре 40 °С, мм²/с (ГОСТ 33–2016);
- плотность при температуре 20 °С (ГОСТ ISO 3675–2014);
- цетановое число (экспресс-метод, анализатор SHATOX SX-300);
- температура вспышки в закрытом тигле (ГОСТ ISO 2719–2017).

Выбранные показатели характеризуют свойства воспламеняемости, горючести и прокачиваемости топлив. Анализ показателей проводили на соответствующем оборудовании по указанным нормативным документам и методам. Для теоретического обоснования наблюдаемых эффектов исследовали также структурно-групповой состав судового топлива по показателю преломления (ГОСТ 18995.2–73) и его дисперсный состав (средний размер частиц дисперсной фазы) [9]. Этот турбидиметрический метод определения дисперсности основан на измерении оптической плотности продукта при определенной длине волны проходящего света с помощью фотоэлектроколориметра. Если пренебречь поглощением света (в дистиллятных нефтепродуктах оно мало), а форму частиц принять за сферическую в соответствии с классическими представлениями [10], то, согласно закону Релея, интенсивности рассеянного и падающего света определяют оптическую плотность вещества и зависят от размера частиц дисперсной фазы. Топливо анализировали до обработки и сразу после нее. Все испытания проводили 2–3 раза.

Результаты (Results)

Экспериментально установлено, что при воздействии ультразвука кинематическая вязкость снижалась на 15 % по мере увеличения частоты обработки (погрешность определения 0,009 мм²/с).

Плотность топлива после ультразвуковой обработки снизилась по сравнению с исходным образцом на $0,002 \text{ кг/м}^3$ (погрешность измерения $0,00005 \text{ кг/м}^3$). Результаты представлены на рис. 1.

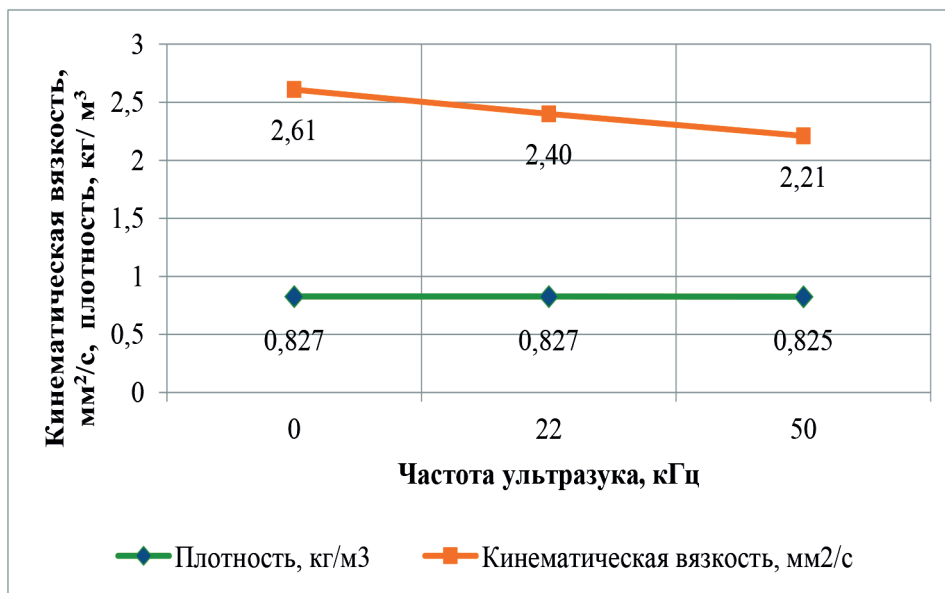


Рис. 1. Изменение плотности и кинематической вязкости топлива в зависимости от частоты ультразвука

Температура вспышки топлива в закрытом тигле снизилась с 72°C (исходное топливо) на пять градусов после обработки при 50 кГц (погрешность 2°C). Цетановое число (ЦЧ) имеет тенденцию к понижению (в пределах погрешности на два пункта). Результаты показаны на рис. 2.

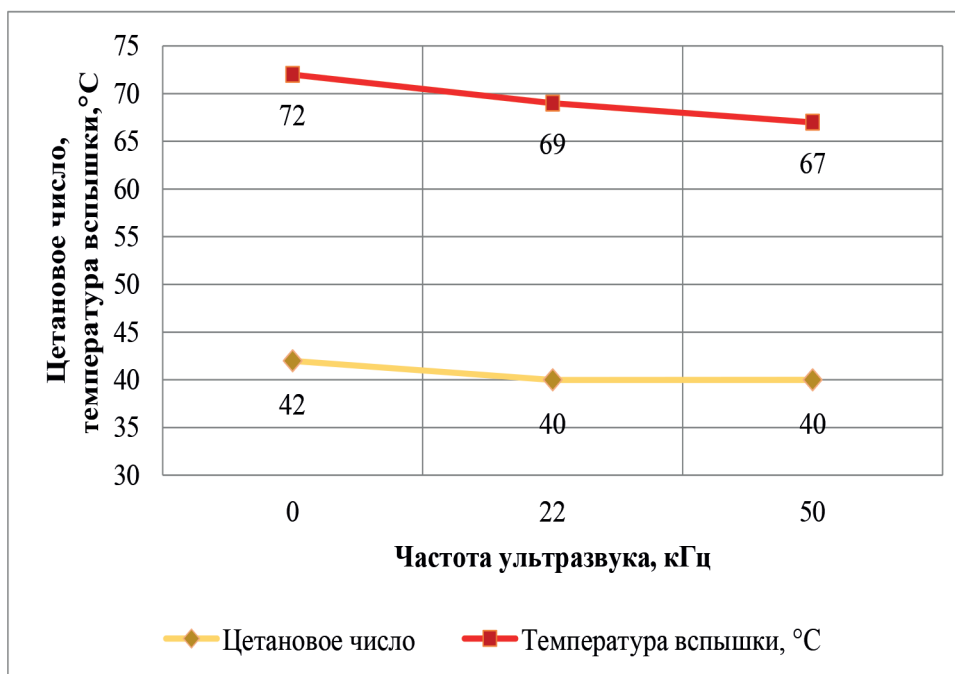


Рис. 2. Изменение цетанового числа и температуры вспышки в закрытом тигле судового топлива в зависимости от частоты ультразвука

Дисперсный состав судового топлива также изменяется. Воздействие ультразвука на топливо приводит к уменьшению среднего размера частиц дисперсной фазы по мере увеличения частоты ультразвука на 16 нм (погрешность измерения 4 нм), т. е. степень дисперсности нефтяной системы растет.

Показатель преломления также снижается (погрешность измерения 0,0002), что свидетельствует о перераспределении структурно-групповых компонентов в топливе. Изменения степени дисперсности (по размеру частиц дисперсной фазы) и показателя преломления показаны на рис. 3.

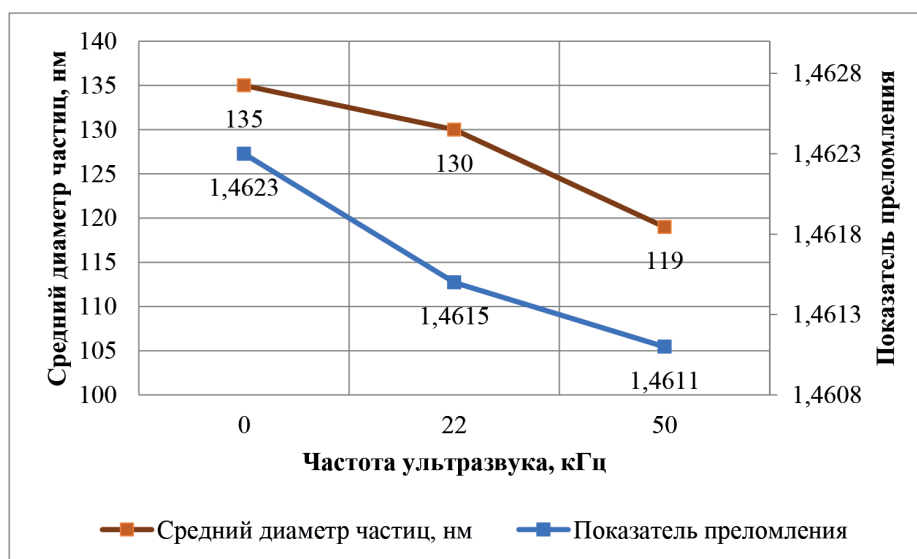


Рис. 3. Изменение среднего размера частиц дисперсной фазы и показателя преломления топлива в зависимости от частоты ультразвука

Обсуждение (Discussion)

Судовые топлива являются весьма неоднородными нефтяными системами разнообразного химического состава, состоящими из дисперсионной среды и дисперсной фазы, находящимися между собой в динамическом равновесии, зависящем от внешних воздействий. Дисперсную фазу можно представить в первом приближении в виде сферической частицы, условно состоящей из трех компонентов: ядра, внутреннего слоя и внешнего слоя. Внешние воздействия, в частности ультразвук, оказывают влияние в первую очередь на самый «уязвимый» внешний слой, который может частично разрушаться и переходить в дисперсионную среду [10]. При этом повышается дисперсность системы, что приводит к изменению физико-химических свойств.

Многочисленные исследования воздействия ультразвука на нефтяные дисперсные системы указывают на то, что гомогенность системы растет вследствие разукрупнения сложных структурных единиц (ССЕ) дисперсной фазы, которые разные авторы называют также агрегатами, кластерами, мицеллами, надмолекулярными структурами, ассоциатами, торами и т. д. [3]–[5], [8], [11]. Ранее было показано, что именно этим объясняется более полное сгорание дизельных топлив при воздействии на них низкоэнергетических волновых воздействий, таких как постоянное магнитное поле и ультразвук невысокой интенсивности [2], [3], [11].

Рассмотрим изменение исследованных показателей с позиций строения нефтяных дисперсных систем (НДС), а именно одного из основных показателей — дисперсного состава. Экспериментально установлено, что степень дисперсности повышается на 12 % за счет того, что размеры частиц уменьшаются, поскольку внешние оболочки частиц дисперсной фазы судового топлива или ССЕ, состоящие из полициклических нафтенных и нафтенно-ароматических углеводородов, высвобождаются в дисперсионную среду. Поэтому снижается показатель преломления, так как дисперсионная среда обогащается полициклическими нафтенными углеводородами, коэффициент преломления которых ниже.

Снижение вязкости также происходит вследствие увеличения гомогенности системы, но в данном интервале это благоприятно влияет на прокачиваемость топлива в топливоподающей аппаратуре, на процессы смесеобразования и, в конечном итоге, на полноту сгорания топлива. Плотность несколько снижается вследствие «саморазбавления» нефтяной дисперсной системы выходящими из оболочек ССЕ углеводородами нафтенного ряда. Уменьшение плотности также способствует более эффективному

распылению топлива, уменьшению размера капель топлива, лучшему смесеобразованию в камере внутреннего сгорания, более полному сгоранию, т. е. снижению его расхода.

Понижение температуры вспышки фазы способствует более интенсивному испарению и, следовательно, более полному сгоранию топлива. Наблюдаемую тенденцию к снижению цетанового числа (ЦЧ) можно объяснить обогащением дисперсионной среды полициклическими и нафтеноароматическими нафтеновыми углеводородами, имеющими меньшее значение ЦЧ. Однако значение этого показателя остается в рамках требования стандарта для данной марки топлива.

Наибольшие изменения всех исследованных показателей были отмечены при частоте ультразвуковых колебаний, равной 50 кГц (мощность 100 Вт). Таким образом, перестройка дисперсной структуры топлива при воздействии ультразвуковых колебаний при рассмотренных ранее условиях оказывает положительное влияние на все изученные физико-химические и эксплуатационные свойства, улучшает свойства топлива, способствует большему полному сгоранию топлив, создает условия для его более эффективного использования, в том числе снижения расхода.

Заключение (Conclusion)

Проведено исследование ультразвукового воздействия на физико-химические и эксплуатационные свойства судового топлива. Ультразвуковая обработка судового топлива (50 кГц, 100 Вт, 40–45 с), осуществляемая перед подачей его в двигатель на топливопроводе перед фильтром и насосами высокого давления, может быть использована для улучшения показателей свойств топлива и, следовательно, для повышения эффективности работы судовых энергетических установок и снижения расхода топлива. Достоинством ее является достаточно простое техническое исполнение, компактность, низкое энергопотребление, безреагентность, безопасность для персонала, а кроме того, ультразвуковое оборудование доступно, оно производится серийно для промышленного применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будин А. А. Основы технической эксплуатации флота / А. А. Будин. — Астрахань: ПКФ «Триада», 2018. — 346 с.
2. Пивоварова Н. А. Технология магнитной обработки топлив для дизелей рыбопромысловых и транспортных судов / Н. А. Пивоварова, А. Ф. Дорохов, Р. Велес Парра // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 941–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-941-950.
3. Pivovarova N. A. Use of Wave Effect in Processing of the Hydrocarbonic Raw Material / N. A. Pivovarova // Petroleum Chemistry. — 2019. — Vol. 59. — Is. 6. — Pp. 559–569. DOI: 10.1134/S0965544119060148.
4. Ануфриев Р. В. Влияние ультразвука на структурно-механические свойства нефтей и процесс осадкообразования / Р. В. Ануфриев, Г. И. Волкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2016. — Т. 327. — Is. 10. — Pp. 50–58.
5. Volkova G. I. Effect of ultrasonic treatment on the composition and properties of waxy high-resin oil / G. I. Volkova, R. V. Anufriev, N. V. Yudina // Petroleum Chemistry. — 2016. — Vol. 56. — Is. 8. — Pp. 683–689. DOI: 10.1134/S0965544116080193.
6. Пат. 2703600 Российская Федерация, МПК F02M 27/00. Способ уменьшения расхода жидкого углеводородного топлива в устройствах для получения тепловой и механической энергии / Ю. В. Воробьев, А. В. Дунаев, Ю. Ю. Воробьев, Г. С. Баронин; заяв. и патентообл. А. В. Дунаев. — № 2018111689; заявл. 02.04.2018; опубл. 03.10.2019, Бюл. № 30. — 9 с.
7. Пуков Р. В. Оценка времени нахождения топлива в зоне ультразвуковой обработки / Р. В. Пуков, С. В. Колупаев, А. С. Колотов, С. А. Кожин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее образование. — 2018. — № 2 (50). — С. 362–366.
8. Голых Р. Н. Ультразвук. Воздействие на системы с несущей жидкой фазой / Р. Н. Голых, В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов, С. Н. Цыганок. — Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2018. — 276 с.
9. Зими́на С. Г. Усовершенствование метода определения дисперсности углеводородного сырья / С. Г. Зими́на, Н. А. Пивоварова // Научные труды АстраханьНИПИГАЗ. — 2006. — № 8. — С. 119.

10. Унгер Ф. Г. Фундаментальные и прикладные результаты исследования нефтяных дисперсных систем / Ф. Г. Унгер. — Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2011. — 264 с.
11. Хмелев В. Н. Ультразвук. Аппараты и технологии / В. Н. Хмелев [и др.]. — Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. — 688 с.

REFERENCES

1. Budin, A. A. *Fundamentals of technical operation of the fleet*. Astrakhan: PKF "Triada", 2018.
2. Pivovarova, Nadezhda A., Aleksandr F. Dorokhov, and Rikardo Velez Parra. "Technology of fuels magnetic processing for diesel engines of fishing and transport vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 11.5 (2019): 941–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-941-950.
3. Pivovarova, N. A. "Use of Wave Effect in Processing of the Hydrocarbon Raw Material." *Petroleum Chemistry* 59.6 (2019): 559–569. DOI: 10.1134/S0965544119060148.
4. Anufriev, Roman V., and Galina I. Volkova. "Influence of ultrasonic treatment on structural/mechanical properties of oil and sedimentation." *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering* 327.10 (2016): 50–58.
5. Volkova, G. I., R. V. Anufriev, and N. V. Yudina. "Effect of ultrasonic treatment on the composition and properties of waxy high-resin oil." *Petroleum Chemistry* 56.8 (2016): 683–689. DOI: 10.1134/S0965544116080193.
6. Vorobiev, Yu. V., A. V. Dunaev, Yu. Yu. Vorobiev, and G. S. Baronin. RU 2 703 600, IPC F02M 27/00. Method of reducing the consumption of liquid hydrocarbon fuel in devices for generating thermal and mechanical energy. Russian Federation, assignee. Publ. 3 October 2019.
7. Pukov, R. V., S. V. Kolupaev, A. S. Kolotov, and S. A. Kozhin. "Estimation of the fuel looking time in ultrasonic treatment zone." *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex* 2(50) (2018): 362–366.
8. Golykh, R. N., V. N. Khmelev, A. V. Shalunov, and S. N. Tsyganok. *Ul'trazvuk. Vozdeistvie na sistemy s nesushchei zhidkoi fazoi*. Biisk: Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta, 2018.
9. Zimina, S. G., and N. A. Pivovarova. "Usovershenstvovanie metoda opredeleniya dispersnosti uglevodorodnogo syr'ya." *Nauchnye trudy Astrakhan'NIPIGAZ* 8 (2006): 119.
10. Unger, F. G. *Fundamental'nye i prikladnye rezul'taty issledovaniya neftyanykh dispersnykh sistem*. Ufa: Izd-vo GUP INKhP RB, 2011.
11. Khmelev, V. N., A. V. Shalunov, S. S. Khmelev, and S. N. Tsyganok. *Ul'trazvuk. Apparaty i tekhnologii*. Biisk: Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta, 2015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пивоварова Надежда Анатольевна — доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»
414056, Российская Федерация, Астрахань,
ул. Татищева, 16, корп. 4
e-mail: nadpivov@live.ru

Байрамова Юлия Ширбалаевна — инженер
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»
414056, Российская Федерация, Астрахань,
ул. Татищева, 16, корп. 4
e-mail: bair567897@gmail.com

Власова Галина Владимировна — кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»
414056, Российская Федерация, Астрахань,
ул. Татищева, 16, корп. 4
e-mail: ranec2003@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pivovarova, Nadezhda A. — Dr. of Technical Sciences, professor
Astrakhan State Technical University
16/4 Tatishcheva Str.,
Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: nadpivov@live.ru

Bayramova, Yulia Sh. — Engineer
Astrakhan State Technical University
16/4 Tatishcheva Str.,
Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: bair567897@gmail.com

Vlasova, Galina V. — PhD, associate professor
Astrakhan State Technical University
16/4 Tatishcheva Str.,
Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: ranec2003@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25 июня 2021 г.
Received: June 25, 2021.