

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ МЕТОД ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОБВОДНЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Евдокимов А. А., Кисс В. В.

TWO-STAGE METHOD FOR DEWATERING OF WATERED HYDROCARBONS

Evdokimov A. A., Kiss V. V.

Аннотация

Когда мы пытаемся сжигать вязкое топливо, обводнённое до 30–40 %, удаётся утилизировать не более 60 % углеводородов. Неполное сгорание обводнённых углеводородов влияет не только на качество атмосферного воздуха и климат. Значительная часть продуктов неполного сгорания возвращается с атмосферными осадками в почвы и водоёмы в виде углеводородных загрязнений. Чтобы этого избежать, предлагается предварительно обезвоживать топливо. Извлечённую воду следует направлять на повторное использование в тот производственный цикл, где обводнённые углеводороды образовались. Разработанная нами станция обезвоживания обводнённых углеводородов позволит решить эту проблему и получить хорошую прибыль.

Ключевые слова: сжигание обводнённого топлива, загрязнение природной среды, дымовые газы, углеводороды, станция обезвоживания, температура и полнота сгорания.

Введение

Нельзя утверждать, что проблема защиты водоёмов в России совсем не решается. При подготовке оборудования к ремонту, осмотру или к смене его содержимого теперь вместо многочасовой пропарки (острым паром) используется технология *бессточной* струйной мойки. Особенность её заключается в том, что обработку поверхности аппарата осуществляют мощной струёй специального моющего раствора («рабочего тела»), пригодного для многократного использования и не требующего для его регенерации эффективных сепарационных устройств [7, 9]. Отмывка нефтеналивного и нефтетранспортного оборудования осуществляется на промывочных комплексах типа СПУМ (станции промывочные универсальные мобильные), которые выпускаются в России серийно по ТУ 3185-004-50905025-2001, начиная с 2001 года. В качестве рабочего тела используется раствор О-БИСМ, выпускаемый по ТУ 2149-004-509050-25-2000.

Abstract

During combustion of watered (30–40 %) viscous fuel, it is possible to dispose of not more than 60 % hydrocarbons. Incomplete combustion of watered hydrocarbons affects not only air quality and climate. The major part of incomplete combustion products is brought back to soil and water with precipitations as hydrocarbon pollutions. To avoid environmental contamination, it is suggested to dewater watered fuel in advance. The separated water shall be re-used in the same industrial cycle where the watered hydrocarbons were generated. A station for dewatering of watered hydrocarbons, developed by the authors, will allow resolving the issue and making a nice profit.

Keywords: combustion of watered fuel, environmental contamination, combustion gases, hydrocarbons, dewatering station, combustion temperature and completeness.

Основа рабочего тела — водный раствор карбоната кальция, в который для дестабилизации водно-углеводородных эмульсий добавляется ПАВ (оксиэтилированные и оксипропилированные полиспирты). Продукты промывки цистерн от загрязнений нефтепродуктами представляют собой водо-углеводородную смесь, для грубого разделения которой в сборнике, снабжённом тонкослойным проточным сепарационным блоком, требуется не более 10 минут [9, 17]. Водный слой из этого сборника после компенсационного подогрева подаётся на повторное использование, а верхний — отсепарированные обводнённые углеводороды — на утилизацию [9, 11, 12]. Широкое внедрение такой технологии на территории России, Казахстана и Украины позволило прекратить сброс загрязнённых промывочных вод в грунты и водоёмы *непосредственно с промывочных комплексов*. Как результат, следовало ожидать заметного улучшения экологического состояния российских водоёмов. Однако вода в наших во-

доёмах чище не становится. Напротив, снижение качества, к примеру, байкальской воды становится необратимым. Почему это происходит?

Бессточная технология отмывки оборудования (в том урезанном виде, как она внедряется) действительно исключает образование загрязнённых сточных вод на мойку и заметно *сокращает* потребление природной воды на восполнение потерь моющего раствора. Но расход воды, по-прежнему, остаётся значительным: на обработку каждой цистерны приходится расходовать от 20 (для светлых углеводородов) до 2000 литров воды (для высоковязких). Куда же девается водный моющий раствор? Почему он возвращается в рецикл не полностью? Значительная его часть остаётся в растворённом и тонко диспергированном виде в отсепарированном углеводородном слое, направляемом на утилизацию. При этом чем более вязкие загрязнения мы пытаемся отмыть, тем больше водного раствора эти загрязнения «захватывают с собой» в процессе сепарации.

Материалы и методы исследования.

Существует и другая, более современная технология отмывки нефтеналивного и нефтетранспортного оборудования [8, 9, 10, 18], которая включает *обезвоживание* отсепарированного углеводородного слоя и возврат всей содержащейся в нём воды в рецикл для повторного использования. Эта технология отличается завершённостью и экологической безопасностью. Однако ни нефтетранспортники, ни предприятия теплоэнергетического комплекса (ТЭК) внедрять такую технологическую схему не собираются. В чём же причина?

Во-первых, на дооборудование действующего промывочного комплекса станцией обезвоживания требуются не только затраты времени и средств, подготовка необходимой территории, *монтаж дополнительного паропровода и эстакады*, значительное увеличение нефтеналивного парка для накопления обезвоженных углеводородов, изготовление и монтаж эксклюзивного оборудования. Но также — последующая эксплуатация нового промышленного объекта с обучением персонала и организацией учёта, хранения и реализации ценных углеводородных продуктов.

Во-вторых, типового проекта реконструкции действующих промывочных станций пока не су-

ществует. А ожидаемые прибыли от реконструкции можно оценить только после проработки бизнес плана.

В-третьих, пока обводнённый углеводородный слой рассматривается, как промышленные отходы, строгого учёта за его образованием и реализацией нет. И это позволяет свободно распоряжаться неучтённым ресурсом, привлекая недобросовестных посредников. Поэтому руководителям вагонных депо, ТЭЦ и котельных, не желающим брать на себя инициативу по решению важной энергетической, экологической и социальной проблемы, легче направлять обводнённые нефтеотходы сразу на сжигание.

Результаты и обсуждение

Анализируя условия горения обводнённых углеводородов различного состава, мы обнаружили [1, 15], что такой способ их утилизации приводит не только к непроизводительным энергозатратам (на испарение балластной воды), но и заметно снижает *полноту* сгорания топлива. Высокая концентрация водяных паров, как и следовало ожидать, *флегматизирует* процесс горения. В таких условиях до половины углеводородов не успевают сгорать и выбрасываются в атмосферу с дымовыми газами, о чём свидетельствует снижение температуры в зоне горения (на 200° и более) по сравнению с теоретической.

Повысить полноту сгорания обводнённого котельного топлива за счёт его специальной подготовки перед подачей в топку, как предлагают некоторые исследователи [2, 3, 19, 20], не удаётся, поскольку сопротивление горению оказывает не столько массообмен, сколько высокая концентрация воды как продукта протекающей реакции (принцип Ле-Шателье).

Если не принимать во внимание других проблем, возникающих при загрязнении атмосферы (включая угрозу «парникового эффекта», Парижское соглашение по которому Россия готова подписать уже в 2016 году), мы не можем мириться с тем, что углеводородсодержащие пары, конденсируясь, возвращаются в природные водоёмы в виде тех самых загрязнений, от которых мы попытались избавиться при реализации бессточного промывочного цикла.

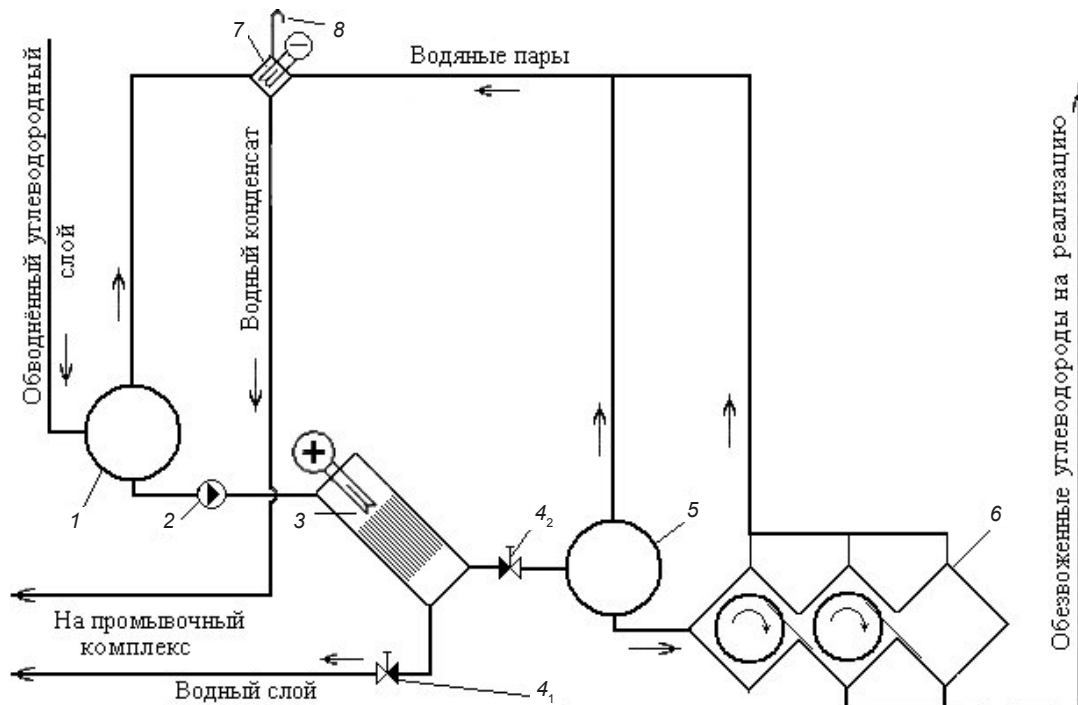
Обезвоживание углеводородного слоя [5, 6] по предлагаемой схеме (см. рисунок) следует осуществлять в два этапа.

На первом этапе, чтобы сократить энергозатраты на испарение воды, необходимо провести жидкофазную сепарацию обводнённых углеводородов. Реализовать такой процесс применительно к высоковязкому углеводородному сырью (например, М 100) при температуре ниже 100 °С не удаётся. 10-дневное упаривание при 95–100 °С не позволяет снизить его влагосодержание хотя бы до 15 %. Для снижения вязкости такой смеси и интенсификации процесса сепарации требуется предварительно нагреть её до 145–150 °С под избыточным давлением $\geq 0,6$ МПа. Для этого из сборника 1 обводнённые углеводороды напорным насосом 2 закачиваются в автоклав-сепаратор 3, где при указанных режимах реализуется процесс тонкослойной жидкофазной сепарации. Отсепарированный водный слой возвращается на промывочный комплекс для использования в качестве моющего раствора.

На втором этапе обезвоживания перегретый углеводородный слой, освобождённый от диспергированной в нём воды, направляют на отгонку. Процесс отгонки протекает тоже в два приёма: вначале при сбросе давления с помощью

клапана 4_2 до атмосферного в сборнике-испарителе углеводородного слоя 5 происходит вскипание растворённой воды. Затем дегазированный углеводородный слой направляется в отгонный плёночный аппарат 6 [4], где наносится тонким слоем на подвижные диски, в процессе вращения которых отгоняются остатки растворённой воды. Водяные пары поступают на конденсатор 7, снабжённый воздушкой 8, где конденсируются и тоже направляются на промывочный комплекс для повторного использования.

Создавать станцию обезвоживания [14] за пределами производственного цикла, где образуется обводнённый углеводородный слой, довольно сложно, дорого и технологически неоправданно [8, 9]. Действительно, водный слой, отделённый в процессе автоклавирования, содержит ≥ 100 мг/л углеводородов. *Такую воду можно использовать без дополнительной очистки только в условиях эксплуатации промывочного комплекса, например, в качестве «рабочего тела I»* [10, 18]. Водный конденсат после отгонки тоже содержит углеводороды, но не более 10 мг/л, что позволяет использовать его для



Принципиальная технологическая схема станции обезвоживания обводнённых углеводородов: 1 — сборник обводнённых углеводородов; 2 — напорный насос; 3 — автоклав-сепаратор; 4₁ и 4₂ — клапаны; 5 — сборник-испаритель; 6 — отгонный плёночный аппарат; 7 — конденсатор водяных паров; 8 — воздушка

споласкивания оборудования после его отмывки («рабочее тело 2»).

Предлагаемая схема обезвоживания высоковязких углеводородов была реализована нами в Киришском (Октябрьская ж/д) вагонном депо и испытана в условиях действующей промывочной станции. При испытании были определены режимы её эффективной эксплуатации и доказана возможность полного обезвоживания углеводородов любой вязкости. Полученные результаты [13] показывают, что

- эффективность обезвоживания высоковязких нефтепродуктов по предлагаемой технологии достигает 86–98 % при полном времени обработки не более 1 часа;
- в процессе жидкофазной сепарации (автоклавирующее) при температуре не ниже 145 °С удаётся отделить (без испарения) до 80 % воды, содержащейся в углеводородном слое;
- вторичный перегрев дросселируемого нефтепродукта до ≥ 140 °С с последующей обработкой его в отгонном плёночном аппарате позволяет отогнать остатки воды и достичь влагосодержания менее 1 %.

Как можно стимулировать внедрение станций обезвоживания, если обводнённые углеводороды различного состава *образуются*, в основном, *при эксплуатации транспортного оборудования* (железнодорожный и водный транспорт) *и нефтеналивного* (на крупных базах горючесмазочных материалов), а *сжигают их на предприятиях ТЭК* (ТЭЦ и котельные)?

Рассчитать количество углеводородных загрязнений, наносящих прямой экологический ущерб, можно по предлагаемой нами методике [16]. Для этого достаточно контролировать количество, температуру и обводнённость топлива, направляемого на сжигание, а также фактическую температуру в пламени. Чем ниже фактическая температура по сравнению с теоретической (её можно рассчитать заранее из условия полного сгорания топлива [15]), тем больше доля углеводородов, которые не успевают сгореть и выбрасываются с дымовыми газами. Санкции за нанесённый природе ущерб можно распределить между руководителями предприятий, поставляющих некондиционное топливо, и тех, кто покупает его. От таких санкций следует ожидать не только заметного улучшения экологической

обстановки. Отказ от сжигания обводнённых углеводородов позволит значительно снизить себестоимость вырабатываемого тепла и, как следствие, облегчить бремя коммунальных услуг для населения.

Заключение

1. Результаты глубокого изучения процессов сжигания обводнённых углеводородов доказывают, что присутствие воды **снижает не только теплотворную способность** сгорающего топлива, но и **полноту его сгорания**. Поэтому, чтобы защитить атмосферу и водоёмы от продуктов их неполного сгорания, **практику утилизации обводнённых углеводородов методом сжигания следует прекратить**.

2. Исследования процессов обезвоживания углеводородов, включая высоковязкие нефтепродукты, показали возможность и целесообразность практически полного отделения из них воды в процессе двухступенчатой обработки. Вначале — жидкофазная сепарация в автоклаве при температуре ≥ 145 °С, а затем — отгонка остатков воды из тонких слоёв углеводородов, формируемых на вращающихся дисках.

3. Создавать станцию обезвоживания целесообразно только в составе промывочных комплексов, предназначенных для обслуживания нефтеналивного и нефтетранспортного оборудования. В этом случае водный слой, отсепарированный при автоклавирующей, можно возвращать в рецикл в качестве основного моющего раствора («рабочее тело 1»), а водный конденсат после отгонки — для споласкивания («рабочее тело 2»). Это позволит исключить необходимость сброса загрязнённых стоков.

4. Чтобы прекратить несанкционированное сжигание обводнённых углеводородов, достаточно контролировать количество, температуру и обводнённость топлива, направляемого на сжигание, а также фактическую температуру в пламени. Используя эти данные, несложно по известной методике рассчитать содержание несгоревших углеводородов в дымовых газах и экологический ущерб, наносимый этими выбросами.

Литература

1. Ахметова, Р. В., Кувшинов, Н. Е., Сунгатуллин, Р. Г. и Таймаров, М. А. (2016). Особенности химических реакций горения метано-водородной фракции в радиантных топках. Известия высших учебных заведений. Проблемы

энергетики. № 11-12, сс. 124–128. doi: 10.30724/1998-9903-2016-0-11-12-124-128.

2. Богачёв, А. П., Катин, В. Д. и Петрова, С. И. (2016). Повышение экологической безопасности сжигания мазута в котельных установках. Учёные заметки ТОГУ, т. 7, № 2, сс. 70–72.

3. Геллер, С. В. (2010). Водомазутная эмульсия — основа устойчивой работы котлоагрегатов на любых видах топочного мазута. Экология и промышленность России, № 2, сс. 10–12.

4. Евдокимов, А. А. (2007). Отгонный плёночный аппарат. Патент РФ № 2300408.

5. Евдокимов, А. А. (2008). Способ обезвоживания нефтепродуктов. Патент РФ № 2315803.

6. Евдокимов, А. А. (2010). Краткий анализ методов и средств обезвоживания вязких нефтепродуктов. Экология и промышленность России, № 3, сс. 20–23.

7. Евдокимов, А. А. (2010). Очистка нефтеналивного и нефтетранспортного оборудования. Проблемы и решения. Экология и промышленность России, № 2, сс. 7–9.

8. Евдокимов, А. А. (2012). Обводнённые нефтеотходы — значительный энергетический ресурс России. Экология и промышленность России, № 11, сс. 19–21.

9. Евдокимов, А. А. (2015). Теория и практика защиты водоёмов от углеводородных загрязнений. Монография. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 126 с.

10. Евдокимов, А. А., Евдокимов, В. А. и Евдокимов, Е. А. (2005). Способ очистки поверхности от углеводородных загрязнений. Патент РФ № 2262396.

11. Евдокимов, А. А., Журавлёв, А. В., Новосельцев, Д. В. и Смолянов, В. М. (2003). Способ очистки поверхностей от углеводородных загрязнений. Европейский патент EP1389229B1.

12. Евдокимов, А. А., Журавлёв, А. В., Новосельцев, Д. В. и Смолянов, В. М. (2003). Способ очистки поверхности от углеводородных загрязнений. Патент РФ № 2200637.

13. Евдокимов, А. А. и Иоффе, О. Б. (2010). Результаты испытаний пилотной установки обезвоживания вязких нефтепродуктов. Экология и промышленность России, № 2, сс. 22–25.

14. Евдокимов, А. А., Иоффе, О. Б. и Матвеев, В. И. (2008). Станция обезвоживания нефтепродуктов. Патент РФ № 2327504.

15. Евдокимов, А. А. и Кисс, В. В. (2013). Как утилизировать обводнённое топливо. Экономика и экологический менеджмент, № 1, с. 14.

16. Евдокимов, А. А. и Кисс, В. В. (2016). Как мы можем защитить атмосферу. В: Сборник статей международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века». Москва — СПб.: Международная исследовательская организация «Cognition», сс. 31–35.

17. Евдокимов, А. А. и Кисс, В. В. (2016). Тонкослойная сепарация эмульсий. Вода и экология: проблемы и решения, № 1, сс. 52–62.

18. Евдокимов, А. А. и Кисс, В. В. (2018). О технологии отмывки и составе рабочих тел. Вода и экология: проблемы и решения, № 3, сс. 63–67. doi: 10.23968/2305-3488.2018.20.3.63–67.

19. Еськин, А. А., Рудинков, А. С. и Ткач, Н. С. (2014). Экспериментальное исследование влияния влагосодержания на теплотехнические характеристики топочного мазута. Технические науки — от теории к практике, № 39, сс. 63–71.

20. Забродин, А. Г. и Забродина, Н. А. (2017). Подготовка к сжиганию обводнённых высоковязких мазутов. Научному прогрессу — творчество молодых, № 2, сс. 125–126.

References

1. Ahmetova, R. V., Kuvshinov, N. E., Sungatullin, R. G. and Tajmarov, M. A. (2016). Osobennosti khimicheskikh reaktsiy goreniya metano-vodorodnoy fraktsii v radiantnykh topkakh [Especially the chemical reactions of combustion of methane-hydrogen fraction in radiant furnaces]. *Proceedings of the Higher Educational Institutions. Energy Sector Problems*, No. 11-12, pp. 124–128. doi: 10.30724/1998-9903-2016-0-11-12-124-128 (in Russian).

2. Bogachev, A. P., Katin, V. D. and Petrova, S. I. (2016). Povysheniye ekologicheskoy bezopasnosti szhiganiya mazuta v kotelnykh ustanovkakh [Increase of ecological security of fuel oil burn in boilers]. *Scientists Notes PNU*, vol. 7, No. 2, pp. 70–72 (in Russian).

3. Geller, S. V. (2010). Vodomazutnaya emulsiya — osnova ustoyichivoy i ekonomichnoy raboty kotloagregatov na lyubykh vidakh topochnogo mazuta [Water-mazut emulsion as the basis of steady and efficient functioning of boilers with any kind of fuel oil and oil-slimes]. *Ecology and Industry of Russia*, No. 2, pp. 10–12 (in Russian).

4. Evdokimov, A. A. (2007). *Otgonny plynochnyy apparat [Film-type distillation apparatus]*. Patent No. 2300408 (in Russian).

5. Evdokimov, A. A. (2008). *Sposob obezvozhivaniya nefteproduktov [Petroleum product dehydration process]*. Patent No. 2315803 (in Russian).

6. Evdokimov, A. A. (2010). Kratkiy analiz metodov i sredstv obezvozhivaniya vyazkikh nefteproduktov [Short analysis of the methods and means purification of the viscous oil products from water]. *Ecology and Industry of Russia*, No. 3, pp. 20–23. (in Russian).

7. Evdokimov, A. A. (2010). Ochistka neftenalivnogo i nefтетransportnogo oborudovaniya: problemy i resheniya [Bulk-oil and oil-transport equipment washing: problems and solutions]. *Ecology and Industry of Russia*, No. 2, pp. 7–9 (in Russian).

8. Evdokimov, A. A. (2012). Obvodnyonnye nefteotkhoty — znachitelny energetichesky resurs Rossii [Watered oil wastes are significant power resource of Russia]. *Ecology and Industry of Russia*, No. 11, pp. 19–21 (in Russian).

9. Evdokimov, A. A. (2015). *Teoriya i praktika zashchity vodoyomov ot uglevodorodnykh zagryazneniy. Monografiya [Theory and practice of water body protection against hydrocarbon pollution. Monograph]*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 126 p. (in Russian).

10. Evdokimov, A. A., Evdokimov, V. A. and Evdokimov, E. A. (2005). *Sposob ochistki poverkhnosti ot uglevodorodnykh zagryazneniy [Method of a surface cleaning from hydrocarbon pollutions]*. Patent No. 2262396 (in Russian).

11. Evdokimov, A. A., Zhuravlev, F. V., Novoseltsev, D. V. and Smolyanov, V. M. (2003). *Sposob ochistki poverkhnostey ot uglevodorodnykh zagryazneniy [Method of hydrocarbon*

impurities removal from surfaces]. European Patent No. EP1389229B1.

12. Evdokimov, A. A., Zhuravlev, F. V., Novoseltsev, D. V. and Smolyanov, V. M. (2003). *Sposob ochistki poverkhnosti ot uglevodorodnykh zagryazneniy [Method of cleaning surfaces from hydrocarbon contamination]*. Patent No. 2200637 (in Russian).

13. Yevdokimov, A. A., Yoffe, O. B. (2010). Rezultaty ispytaniy pilotnoy ustanovki obezvozhvaniya vyazkikh nefteproduktov [The results of trials of pilot installation for dehydration of viscous oil products]. *Ecology and Industry of Russia*, No. 2, pp. 22–25 (in Russian).

14. Evdokimov, A. A., Yoffe, O. B. and Matveev, V. I. (2008). *Stantsiya obezvozhvaniya nefteproduktov [Station of oil products dehydration]*. Patent No. 2327504 (in Russian).

15. Evdokimov, A. A., Kiss, V. V. (2013). Kak utilizirovat obvodnyonnoye toplivo [How to utilize the watered fuel]. *Ekonomika i ekologicheskyy menedzhment*, No. 1, p. 14 (in Russian).

16. Evdokimov, A. A. and Kiss, V. V. (2016). Kak my mozem zashchitit atmosferu [How we can protect atmosphere]. In: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Aktualnye problemy nauki XXI veka” [International Scientific and Practical Conference “Scientific problems of the 21st century”]. Moscow – Saint-Petersburg: International Research Organization “Cognitio”, pp. 31–35 (in Russian).

17. Evdokimov, A. A. and Kiss, V. V. (2016). Tonkosloynaya separatsiya emulsiy [Thin-layer emulsion separation]. *Water and Ecology*, No. 1, pp. 52–62 (in Russian).

18. Evdokimov, A. A. and Kiss, V. V. (2016). O tekhnologii otmyvki i sostave rabochikh tel [About washing technology and the working liquids content]. *Water and Ecology*, No. 3, pp. 63–67. doi: 10.23968/2305–3488.2018.20.3.63–67 (in Russian).

19. Eskin, A. A., Rudinkov, A. S. and Tkach, N. S. (2014). Eksperimentalnoye issledovaniye vliyaniya vlagosoderzhaniya na teplotekhnicheskiye kharakteristiki topochnogo mazuta

[Experimental research the influence of moisture content on fuel oil thermal characteristics]. *Tekhnicheskiye Nauki — ot Teorii k Praktike*, No. 39, pp. 63–71 (in Russian).

20. Zabrodin, A. G. and Zabrodina, N. A. (2017). Podgotovka k szhiganiyu obvodnyonnykh vysokovyazkikh mazutov [Preparation for combustion of watered highly viscous mazut]. *Nauchnomu Progressu — Tvorchestvo Molodykh*, No. 2, pp. 125–126 (in Russian).

Авторы

Евдокимов Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: evdokimov@bk.ru

Кисс Валерий Вячеславович, канд. техн. наук, доцент
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vvkiss@yandex.ru

Authors

Evdokimov Aleksandr Aleksandrovich, Ph. D. in Engineering, Associate Professor

Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: evdokimov@bk.ru

Kiss Valerij Vyacheslavovich, Ph. D. in Engineering, Associate Professor

Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: vvkiss@yandex.ru