

## О ТЕХНОЛОГИИ ОТМЫВКИ И СОСТАВЕ РАБОЧИХ ТЕЛ

Евдокимов А. А., Кисс В. В.

## ABOUT WASHING TECHNOLOGY AND THE WORKING LIQUIDS CONTENT

Evdokimov A. A., Kiss V. V.

### Аннотация

**Введение:** воду, захваченную углеводородным слоем в процессе разделения продуктов промывки, можно полностью отделить на специальной станции обезвоживания. Состав используемых жидкостей практически не влияет на качество отмывки и споласкивания оборудования. Учитывая эти особенности, нет необходимости использовать высокоэффективные средства разделения продуктов промывки. **Методы и материалы:** за основу рабочего тела принят продукт, образованный в результате предыдущей промывки. **Результат:** предложен оригинальный способ внутренней отмывки оборудования от углеводородных загрязнений. **Заключение:** предложенный способ позволяет значительно упростить технологическую схему промывочного комплекса, дооборудованного станцией обезвоживания обводнённых углеводородов, отказаться от использования природной воды, снизить энергозатраты и избежать загрязнения природной среды.

**Ключевые слова:** промывочный комплекс, углеводороды, загрязнение природной среды, станция обезвоживания, разделение эмульсии.

**Introduction:** the water captured by the hydrocarbon layer during the separation of the washing products can be completely separated at a special dewatering station. The composition of the used liquids used has practically no effect on the quality of washing and rinsing of the equipment. Given these features, there is no need to use highly efficient means of separating the washing products. **Methods and materials:** the formed product as a result of the previous washing, is taken as the basis of the working fluid. **Results:** the original way of internal washing of the equipment from hydrocarbon contaminations is offered. **Conclusion:** the proposed method makes it possible to significantly simplify the technological scheme of the washing complex, equipped with a dewatering station for watered hydrocarbons, to abandon the use of natural water, to reduce energy costs and to avoid pollution of the natural environment.

**Keywords:** flushing complex, hydrocarbons, environmental pollution, dewatering station, emulsion separation.

### Введение

В предыдущем сообщении, посвящённом обоснованию выбора рабочих тел для отмывки наливного и транспортного оборудования [1], были сформулированы общие принципы, позволяющие учесть как требования экологической безопасности, так и технологические особенности эффективной мойки и экономику модернизируемого производства:

- только полный возврат извлечённой воды в рецикл (а не очистка её перед сбросом в природную среду) отличает технологически завершённый и экологически совершенный промышленный объект;

- в качестве рабочих тел целесообразно в полной мере использовать продукты отмывки, образовавшиеся в предыдущем цикле;

- при подготовке рабочих тел к возврату в рецикл целесообразно использовать гетерогенные системы, образованные компонентами с ограниченной взаимной растворимостью и аномалиями в условиях фазовых переходов (азеотропные смеси);

- чтобы интенсифицировать процессы сепарации фаз, обработку эмульсий следует проводить в узких щелевых каналах при режимах, учитывающих эффект Пуазейля [2];

- для обработки высоковязких продуктов (транспортировки, нагревания, обезвоживания) целесообразно использовать аппараты с подвижными коалесцирующими дисками;

- рабочее тело не должно быть многоцелевым, чтобы не усложнять его обработку перед возвратом в рецикл;

- системы регенерации рабочего тела и утилизации извлекаемых загрязнений должны быть только локальными и размещаться в границах реконструируемого объекта [3–5].

Следуя этим принципам, мы попытались усовершенствовать существующий способ отмывки внутренней поверхности оборудования от углеводородных загрязнений [20].

#### Методы и материалы

За основу рабочего тела мы приняли продукт, который образуется в результате предыдущей промывки. Поскольку присутствие воды в рабочем теле не исключается, продукты промывки будут представлять собой водно-нефтяные смеси, которые, попадая в сборник, сразу начинают расслаиваться. Основная масса таких смесей при кратковременном пребывании в сборнике представляет собой эмульсию, одна часть которой — углеводородные частички, диспергированные в воде (эмульсия 1-го рода), а другая — частички воды, диспергированные в углеводородах (эмульсия 2-го рода). С момента попадания смеси в сборник начинается образование осветлённых слоёв: в нижней части, как правило, водного, а в верхней части — углеводородного.

Чтобы утилизировать отмываемые загрязнения, необходимо обеспечить более или менее эффективное разделение продуктов промывки. Наиболее перспективным для этой цели является метод тонкослойной сепарации [6–13]. Скорость осветления водного и углеводородного слоёв в значительной степени зависит от дисперсного состава и брутто содержания дисперсной фазы в дисперсионной среде: чем крупнее частицы и чем их больше, тем быстрее они сепарируются. И напротив, если частиц немного и они очень малы, то для разделения такой эмульсии требуется много времени либо высокоэффективные сепарационные устройства. Но есть ли необходимость разделять тонкодисперсные эмульсии?

Для удаления из промываемого оборудования основной массы загрязнений (первый цикл мойки) в качестве рабочего тела (*A*) можно использовать как всю массу продуктов предыдущей промывки, так и любой из образующихся слоёв. Но если подавать на мойку эмульсии любого состава (в том числе тонкодисперсного) и оставлять в сборнике только осветлённые и прилегающие к ним грубодисперсные слои, то, не снижая качест-

ва отмывки, можно увеличить время пребывания последних в зоне сепарации и тем самым исключить необходимость дополнительной их очистки.

Изучая особенности второй стадии обработки — споласкивания, обнаружили, что для этой цели совсем необязательно использовать чистую воду. Действительно, уже с начального момента использования воды в неё сразу попадают остатки углеводородных загрязнений, не только растворяясь, но и образуя тонкодисперсные устойчивые эмульсии. И присутствие таких тонко диспергированных углеводородных частиц в воде (рабочее тело *B*) никак не отражается на эффективности споласкивания. Этот эффект был впервые обнаружен нами в процессе демонстрационных испытаний УМПС-01 в вагонном депо железнодорожной станции Псков в 2000 г. [14].

Приведённые доводы уже в 2000–2002 гг. открывали новые перспективы создания экологически безупречной технологии отмывки оборудования. Однако из-за большой обводнённости сепарируемого углеводородного слоя (30–50 %) возникала потребность в постоянной подпитке рабочего тела чистой водой, брать которую, в конечном счёте, приходилось из природного водоёма. Следовало также учесть, что присутствие воды в сжигаемых углеводородах, вопреки утверждению некоторых специалистов [15], значительно снижает КПД котельных агрегатов и становится одним из важнейших источников загрязнения атмосферы продуктами неполного сгорания нефтепродуктов.

Чтобы исключить использование природной воды, необходимо было из отсепарированного углеводородного слоя постоянно отделять всю захваченную воду и возвращать её на подпитку рабочих тел.

Исследования в этом направлении, завершившись в конце 2007 г. успешным испытанием пилотной установки обезвоживания мазутов, смонтированной непосредственно на промывочной станции в Киришском вагонном депо Октябрьской железной дороги. Результаты испытаний [16] доказали техническую возможность и экономическую целесообразность полного обезвоживания отсепарированных углеводородов, включая высоковязкое котельное топливо, перед их утилизацией.

Для успешного промышленного использования полученных результатов достаточно было действующие промылочные комплексы (например, СПУМ) доукомплектовать станциями обезвоживания нефтепродуктов (СОНеф) [17, 18].

**Результаты и обсуждение**

Обобщая результаты всех НИОКР, выполненных в указанном направлении, нам удалось сформулировать новый оригинальный способ внутренней отмывки оборудования от углеводородных загрязнений [19], который можно рекомендовать во всех случаях подготовки оборудования к ремонту, внутреннему осмотру или смене содержимого.

На рис. 1 представлена принципиальная схема, разъясняющая сущность предлагаемого способа. Очистка внутренней поверхности обрабатываемой емкости 1 протекает следующим образом. На первом этапе обработки через сопла моечной машинки 2а, вращающейся или колеблющейся по специальной программе, из средней части сборника-сепаратора 3 насосом 4<sub>1</sub> подают рабочее тело А, представляющее собой подогретый в подогревателе 5<sub>1</sub> эмульсионный слой, образовавшийся в результате расслоения продуктов предыдущей промывки. Продукты промывки из ёмкости 1 откачиваются насосом 4<sub>2</sub> в сборник-сепаратор 3, где происходит их грубое разделение

на три слоя: верхний (углеводородный), нижний (водный) и эмульсионный, включающий оба типа эмульсии (прямую и обратную).

Когда основная масса углеводородных загрязнений из ёмкости 1 удалена, приступают ко второму этапу обработки — чистовой мойке (споласкиванию). Для этого через сопла другой моечной машинки 2б насосом 4<sub>3</sub> из нижней части сборника-сепаратора 3 через подогреватель 5<sub>2</sub> подают рабочее тело Б, представляющее собой водный слой, образовавшийся в результате расслоения продуктов предыдущей промывки. При этом обеспечивается необходимый напор, а вращение моечной машинки 2б осуществляется по специальной программе, обеспечивающей попадание струи на каждый из участков отмываемой поверхности. Продукты чистовой промывки возвращаются также в сборник-сепаратор 3 для последующего разделения.

Также на рис. 1 показана станция обезвоживания углеводородов [17]. Часть осветлённого верхнего слоя (обводнённые углеводороды) отправляется на станцию обезвоживания, где из него отделяют воду в соответствии с [18], и возвращают её на восполнение потерь водного слоя в сборник 3, замыкая рецикл. Обезвоженные углеводороды реализуют как товарный продукт.

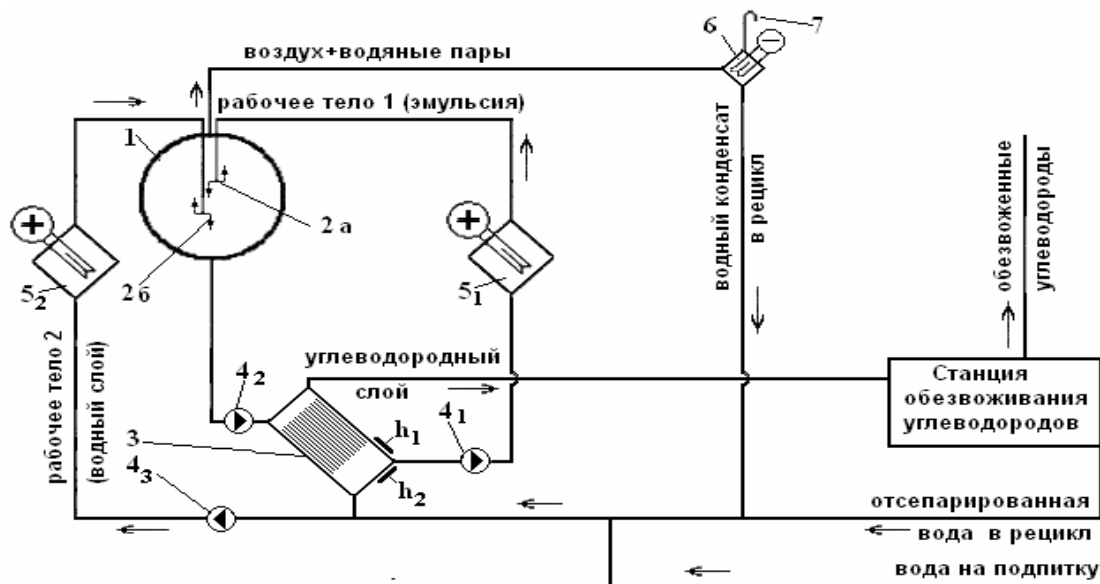


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема внутренней отмывки оборудования от углеводородов: 1 — обрабатываемая емкость; 2а и 2б — моечные машинки; 3 — сборник-сепаратор продуктов промывки; 4<sub>1</sub> и 4<sub>2</sub> — напорные насосы; 5<sub>1</sub> и 5<sub>2</sub> — подогреватели рабочих тел; 6 — конденсатор водяных паров; 7 — воздушка

Обработка по описанной схеме имеет ряд преимуществ:

- прогрев и удаление основной массы углеводородных загрязнений осуществляется циркулирующим рабочим телом, не требующим эффективной сепарации;
- благодаря малой задержке рабочего тела технологическую схему обработки удается значительно упростить;
- чистовая обработка водным слоем, не требующим дополнительной подготовки, позволяет избежать дополнительных затрат, связанных с приготовлением и последующей регенерацией компонентов моющих растворов, а также значительно сократить производственные объёмы.

#### Заключение

Заявленные технические решения были проверены в лаборатории и на пилотных установках [2, 16]. Отдельные признаки способа в части реализуемости были проверены на двух универсальных мобильных промывочных станциях (УМПС), эксплуатировавшихся в вагонном депо на ст. Псков и ст. Морозовская [14]. Так, время обработки цистерн из-под высоковязких нефтепродуктов (мазуты, парафины, высокосернистые сорта нефти и др.) по двухступенчатой схеме обработки на ст. Морозовская сократилось с 60–90 до 30–40 мин, как следствие, увеличилась пропускная способность УМПС и уменьшились удельные энергозатраты. При этом качество очистки стенок цистерн не снизилось. Таким образом, заявляемый способ, решая основную задачу (отмывка поверхности от загрязнений), позволяет значительно упростить технологическую схему, существенно сократить общие затраты на обработку и избежать загрязнения природной среды.

#### Литература

1. Евдокимов, А. А., Кисс, В. В., Каржаубаев, А. А., Шапошникова, М. М. (2014). Перспективы рационального использования природной воды. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент*, № 2(17), сс. 175–182.
2. Евдокимов, А. А. (2015). Теория и практика защиты водоёмов от углеводородных загрязнений. Саарбрюкен: Lambert Academic Publishing, 126 с.
3. Москвин, Л. Н. (2017). Классификация методов разделения. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика и химия*, т. 4, №2, сс. 163–214.
4. Магид, А. Б., Насыров, Ф. Ф. (2016). Универсальная схема очистных сооружений. Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний, № 4, сс. 46–48.

5. Коваленко, В. П., Улюкин, Е. А. (2009). Очистка нефтесодержащих поверхностных вод на объектах системы нефтепродуктообеспечения сельскохозяйственных предприятий. *Международный технико-экономический журнал*, № 5, сс. 40–45.

6. Лурье, И. Е. (1990). О расчёте канализационных отстойников с тонкослойными блоками. *Водное хозяйство и гидротехническое строительство*, № 19, сс. 41–43.

7. Черкасов, В. Г. (2007). Влияние геометрии тонкослойного пространства на разделительную способность гидро-взвеси в гравитационных сепараторах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, т. 10, сс. 343–349.

8. Фарахов, М. И., Лаптев, А. Г., Афанасьев, И. П. (2005). Сепарация дисперсной фазы из жидких углеводородных смесей в нефтепереработке и энергосбережение. Казань: КГЭУ, 134 с.

9. Назаров, В. В., Кушнаренко, В. Л. (2011). Очистка и сепарация нефтепродуктов реоцентрифугированием. *Вестник Оренбургского государственного университета*, № 10, сс. 205–210.

10. Мингазетдинов, И. Х., Кулаков, А. А., Газеев, Н. Х. (2016). Новые устройства очистки сточных вод от загрязняющих веществ. *Экология и промышленная безопасность*, № 2(66), сс. 32–33.

11. Лаптев, А. Г., Фарахов, М. И., Минеев, Н. Г. (2011). Энергоресурсосберегающие модернизации промышленных установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*, № 2(9), сс. 150–158.

12. Лаптев, А. Г., Башаров, М. М. (2011). Определение эффективности тонкослойных отстойников при турбулентном режиме. *Вода: химия и технология*, № 5, сс. 33–39.

13. Евдокимов, А. А., Кисс, В. В. (2016). Тонкослойная сепарация эмульсий. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 1(65), сс. 52–62.

14. Евдокимов, А. А., Богданов, А. Ф., Смолянов, В. М. (2002). Высокоэффективная технология очистки котлов железнодорожных цистерн. В: *Повышение надёжности и совершенствование методов ремонта подвижного состава*, СПб: ПГУПС, сс. 154–179.

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

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

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

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

19. Евдокимов, А. А., Кисс, В. В., Шерматова, Ф. М. (2017). Двухступенчатый способ очистки поверхности от загрязнений нефтепродуктами. Патент № 2592521.

#### References

1. Evdokimov, A. A., Kiss, V. V., Karzhaubaev, A. A., Shaposhnikova, M. M. (2014). Perspektivy racional'nogo

ispol'zovaniya prirodnoy vody [Prospects of efficient use of natural water]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ehkologicheskij menedzhment*, № 2(17), pp. 175–182. (in Russian).

2. Evdokimov, A. A. (2015). *Teoriya i praktika zashchity vodoyomov ot uglevodorodnyh zagryaznenij* [Theory and practice of protecting water bodies against hydrocarbon pollution]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 126 p. (in Russian).

3. Moskvina, L. N. (2017). Klassifikatsiya metodov razdeleniya [Classification of separation methods]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Fizika i himiya*, vol. 4, № 2, pp. 163–214. (in Russian).

4. Magid, A. B., Nasyrov, F. F. (2016). Universal'naya skhema ochistnykh sooruzhenij. Mir nefteproduktov [Universal flow diagram of treatment facilities. World of oil products]. *Vestnik neftyanykh kompanij*, № 4, pp. 46–48. (in Russian).

5. Kovalenko, V. P., Ulyukin, E. A. (2009). Ochistka neftesoderzhashchih poverhnostnykh vod na ob'ektakh sistemy nefteproduktobespecheniya sel'skhozajstvennykh predpriyatij [Treatment of petroliferous surface water at the facilities of system of oil-products delivery to agricultural enterprises.]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ehkonomicheskij zhurnal*, № 5, pp. 40–45. (in Russian).

6. Lur'e, I. E. (1990). O raschyote kanalizatsionnykh otstojnikov s tonkoslojnymi blokami [On calculating catch basins with blocks]. *Vodnoe hozyajstvo i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, № 19, pp. 41–43. (in Russian).

7. Cherkasov, V. G. (2007). Vliyanie geometrii tonkoslojnogo prostranstva na razdelitel'nyu sposobnost' gidrovzvesi v gravitatsionnykh separatorakh [Influence of geometry of thin-layer environment on separating power of hydraulic suspended matter in gravitational separating devices.]. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, vol. 10, pp. 343–349. (in Russian).

8. Farahov, M. I., Laptev, A. G., Afanas'ev, I. P. (2005). *Separatsiya dispersnoj fazy iz zhidkih uglevodorodnykh smesey v neftepererabotke i ehnergosberezenie* [Separation of dispersion phase from liquid hydrocarbon compounds in crude oil refining and energy saving]. Kazan': KGEHU, 134 p. (in Russian).

9. Nazarov, V. V., Kushnarenko, V. L. (2011). Ochistka i separatsiya nefteproduktov reocentrifugirovaniem [Cleaning and separation of oil products by means of rheocentrifuging]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 10, pp. 205–210. (in Russian).

10. Mingazetdinov, I. H., Kulakov, A. A., Gazeev, N. H. (2016). Novye ustrojstva ochistki stochnykh vod ot zagryaznyayushchih veshchestv [New devices of waste water cleaning from contaminants]. *Ekologiya i promyshlennaya bezopasnost'*, № 2(66), pp. 32–33. (in Russian).

11. Laptev, A. G., Farahov, M. I., Mineev, N. G. (2011). Energoresursosberegayushchie modernizatsii promyshlennykh ustanovok na predpriyatiyah neftegazohimicheskogo kompleksa [Energy- and resource-saving upgrades of industrial installations at enterprises of gas and petro-chemical complex]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo ehnergeticheskogo universiteta*, № 2(9), pp. 150–158. (in Russian).

12. Laptev, A. G., Basharov, M. M. (2011). Opredelenie ehffektivnosti tonkoslojnykh otstojnikov pri turbulentnom rezhime [Determining efficiency of thin-layer sediment basins

in case of turbulent mode]. *Voda: himiya i tekhnologiya*, № 5, pp. 33–39. (in Russian).

13. Evdokimov, A. A., Kiss, V. V. (2016). Tonkoslojnaya separatsiya ehmul'sij [Thin-layer separation of emulsions]. *Water and Ecology*, № 1(65), pp. 52–62. (in Russian).

14. Evdokimov, A. A., Bogdanov, A. F., Smolyanov, V. M. (2002). Vysokoeffektivnaya tekhnologiya ochistki kotlov zheleznodorozhnykh cistern [High-efficiency technology of cleaning boilers of railway car tanks]. V: *Povyshenie nadyozhnosti i sovershenstvovanie metodov remonta podvizhnogo sostava*, SPb: PGUPS, pp. 154–179. (in Russian).

15. Geller, S. V. (2010). Vodomazutnaya ehmul'siya — osnova ustojchivoj i ehkonomichnoj raboty kotloagregatov na lyubyykh vidah topochnogo mazuta [Water and mazut emulsion is the basis of stable and energy efficient operation of boiler units on all types of fuel oil.]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, № 2, pp. 10–12. (in Russian).

16. Ioffe, O. B., Evdokimov, A. A. (2010). Rezul'taty ispytaniy pilotnoj ustanovki obezvozhivaniya vyazkih nefteproduktov [Results of testing pilot installation of dehydration of viscous petrochemicals]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, № 2, pp. 22–25. (in Russian).

17. Evdokimov, A. A., Ioffe, O. B., Matveev, V. I. (2008). *Stantsiya obezvozhivaniya nefteproduktov* [Station for petrochemicals dehydration]. Patent № 2327504. (in Russian).

18. Evdokimov, A. A. (2008). *Sposob obezvozhivaniya nefteproduktov* [Method of petrochemicals dehydration]. Patent № 2315803. (in Russian).

19. Evdokimov, A. A., Kiss, V. V., Shermatova, F. M. (2017). *Dvuhstupenchatyj sposob ochistki poverhnosti ot zagryaznenij nefteproduktami* [Two-stage method of surface cleaning from contamination with petrochemicals]. Patent № 2592521. (in Russian).

#### Авторы

**Евдокимов Александр Александрович**, канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики

E-mail: evdokimov@bk.ru

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

E-mail: vvkiss@yandex.ru

#### Authors

**Evdokimov Aleksandr Aleksandrovich**, PhD in Engineering

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

E-mail: evdokimov@bk.ru

**Kiss Valerij Vyacheslavovich**, PhD in Engineering  
Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

E-mail: vvkiss@yandex.ru