

УДК 622.276.72

Подбор эффективных ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений для транспорта нефти Кондинского месторождения

Е. Н. Скворцова*, О. П. Дерюгина

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

*e-mail: skvortsovaen@tyuiu.ru

Аннотация. В работе рассматриваются результаты исследования по подбору ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), которые могут быть использованы на Кондинском месторождении при транспортировке и обезвоживании эмульсии.

Данный эксперимент проводился с целью подбора наиболее эффективных ингибиторов АСПО — одной из самых серьезных проблем при добыче нефти. Для выбора ингибитора АСПО, наиболее эффективного в условиях систем добычи, сбора, подготовки и внешнего транспорта нефти Кондинского месторождения, были проведены лабораторные испытания. На основании проведенных исследований к опытно-промышленным испытаниям могут быть допущены ИАСПО-2, ИАСПО-4, ИАСПО-6, показавшие наилучшие результаты по обеспечению эффективности ингибирования, которая должна составлять не менее 70 %. Рекомендуемая начальная дозировка ингибиторов по полученным результатам при проведении опытно-промышленных испытаний должна составлять не менее 500 г/т нефти.

Ключевые слова: нефтяная эмульсия; скважина; ингибитор; асфальтосмолопарафиновые отложения; реологические свойства нефти; транспорт нефти

Selection of effective wax (deposition) inhibitors to oil production and transportation at the Kondinskoye oil field

Elena N. Skvortsova*, Olga P. Deryugina

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*e-mail: skvortsovaen@tyuiu.ru

Abstract. The article discusses the results of a study on the selection of wax inhibitors that can be used at the Kondinskoye oil field during transportation and dehydration of the emulsion.

Asphaltene precipitation is one of the most serious issues in oil production. The experiment was conducted in order to select the most effective wax inhibitors. We have carried out laboratory tests to choose the most effective wax inhibitor in the conditions of oil production, collection, preparation and external transport systems at the Kondinskoye oil field. Based on the data obtained, wax inhibitor-2, wax inhibitor-4, and wax inhibitor-6 have shown the best results in ensuring the efficiency of inhibition, which should be at least 70 %, and, therefore, they can be allowed to pilot tests. The recommended initial dosage of inhibitors according to the results obtained during pilot tests should be at least 500 g/t of oil.

Key words: oil emulsion; well; inhibitor; asphalt-resin-paraffin deposits; rheological properties of oil; oil transportation

Введение

Условия разработки месторождений, свойства пластовых флюидов, геологические и геохимические факторы — все это в значительной мере обуславливает состав и свойства асфальтосмолопарафиновых отложений. Особо важное значение при разработке месторождений отводится проблеме борьбы с АСПО на оборудовании промыслов. Доля скважин, на которых добыча нефти осложняется образованием АСПО, постоянно увеличивается. Такую картину можно наблюдать в Пермском крае, Красноярском крае, а также в Тюменской области.

Для предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений на различном оборудовании скважин, а также возможности их удаления применяются различные ингибиторы и удалители АСПО.

Отечественные и зарубежные компании-производители постоянно предлагают потребителю все новые и новые разработки для предотвращения и удаления органических отложений химическим способом. Выбор того или иного реагента зачастую зависит от информации, предоставленной самими разработчиками. Очень часто невозможно объективно оценить эффективность конкретного ингибитора. Происходит недооценка или переоценка оказываемого ингибитором действия, то есть неправильно выбрана оптимальная доза используемого реагента. Поэтому очень важная роль отводится научно аргументированному выбору эффективных ингибиторов АСПО.

В работе А. Р. Ракитина, Б. В. Фофанова, В. Ф. Горбунова проведен анализ большого количества проблемных скважин фонда ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», приведены результаты исследований и даны рекомендации по подбору эффективных отечественных ингибиторов АСПО. Установлено, что один и тот же ингибитор в пределах одной залежи может иметь различную эффективность. Таким образом, для каждой конкретной скважины необходимо индивидуально подбирать эффективные ингибиторы [1].

Исследованиям по подбору наиболее эффективных ингибиторов в лабораторных условиях, совместимости их с другими реагентами, используемыми для транспорта и подготовки нефтяных эмульсий, посвящено достаточно много работ, среди которых выделяются работы В. С. Диденко, А. В. Николаева, Е. С. Дубового, Н. Н. Хафизова, П. Н. Шадринной и др. [2–13].

Зарубежные авторы также проводят разносторонние исследования данной проблемы [14–16].

M. Madhi, R. Kharrat, T. Namoule изучили влияние функциональных групп и структуры ингибиторов на осаждение асфальтенов. Установлено, что природа и полярность асфальтенов оказывают существенное влияние на выбор ингибиторов. Авторами была разработана методика для оценки ингибиторов в статических и динамических условиях. Результаты выявили различающиеся механизмы асфальтенсолюбилизации/дисперсии (такие как водородная связь, пептизация и кислотно-основное взаимодействие) и влияние дополнительной боковой группы (ОН) на ингибирующую способность ингибитора.

M. S. E. Garreto, C. R. E. Mansur, E. F. Lucas [15] а также M. M. Shadman, A. H. S. Dehaghani, M. H. Badizad [16] определяют момент начала осаждения асфальтенов при добыче нефти. Настоящее исследование дает комплексный критический обзор различных методов вместе со сравнением их достоинств и недостатков, служит для определения начала выделения асфальтенов, их кластеризации и осаждения.

P. Kog, R. Kharrat разработали новую модель осаждения, учитывающую как диффузионный, так и инерционный перенос асфальтена к поверхности трубопровода [17]. Параметрическое исследование было выполнено с использова-

нием утвержденной модели. Исследовалось влияние размера частиц асфальтенов, скорости потока и вязкости нефти на величину скорости осаждения асфальтенов. Разработанная модель предсказывает, что при низкой скорости жидкости (~ 0,7 м/с) менее вязкая нефть более склонна к осаждению асфальтенов.

Объект и методы исследования

Добываемая на Кондинском месторождении нефть относится к трудноизвлекаемой. Одной из задач, возникающих при добыче и транспортировке такого типа нефти, является защита внутрипромысловых труб.

В работе проведены лабораторные испытания по подбору наиболее эффективных ингибиторов АСПО для исследуемого месторождения. Исследовались 6 образцов различных типов и разных производителей. Все анализируемые образцы представлены в зашифрованном виде. Подобран оптимальный расход реагента для проведения опытно-промысловых испытаний. В данной статье акцент сделан на эффективность ингибирования. При правильном выборе ингибитора и соответствующей технологии его применения можно предупредить образование АСПО на всем пути движения продукции скважин от забоя до пунктов подготовки нефти и воды.

Экспериментальная часть

При подготовке нефти остро встает вопрос о применении эффективных ингибиторов АСПО. Исследуемые образцы (ИАСПО-1 — ИАСПО-6) подвергались входному контролю по физико-химическим свойствам. Для этого были определены температура застывания по ГОСТ 20287¹, температура вспышки по ГОСТ 4333-2014², плотность при 20 °С по ГОСТ 18995.1³, кинематическая вязкость при различных температурах по ГОСТ 33⁴. После этого все образцы прошли испытания по определению их технологических свойств. Данные свойства определялись по трем основным пунктам:

- 1) эффективность ингибирующего действия;
- 2) совместимость с добываемой жидкостью, жидкостью глушения и другими химическими реагентами;
- 3) коррозионная агрессивность товарной формы.

Учитывая требования для защиты трубопроводов, испытания ингибиторов АСПО проводились при температурных изменениях 5, 10, 20, 30, 40 °С. Также необходимо было определить минимальную эффективную дозировку ингибитора АСПО. При определении эффективности ингибирующего действия установили изменения дозировок с шагом в 10 %. Норматив данного показателя, согласно требованиям регламента, устанавливается не менее 70 %.

В качестве исследуемых объектов для тестирования ингибиторов АСПО использовали нефть с двух точек:

- проба нефти исследуемого месторождения с напорного нефтепровода;
- проба нефти исследуемого месторождения с нефтесборного трубопровода.

¹ ГОСТ 20287-91. Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания [Электронный ресурс]. – Введ. 1992-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005428>.

² ГОСТ 4333-2014. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле [Электронный ресурс]. – Введ. 2016-07-01. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/60070/>.

³ ГОСТ 18995.1-73. Продукты химические жидкие. Методы определения плотности [Электронный ресурс]. – Введ. 1974-06-30. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/41667/>.

⁴ ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости [Электронный ресурс]. – Введ. 2018-07-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200145229>.

Нефтеборный трубопровод — это трубопровод, который выполняет определенные задачи по транспортировке нефти от скважины к резервуарам или емкостям для сбора нефти.

Результаты определения эффективности ингибирующего действия испытуемых образцов при различных температурах с напорного нефтепровода приведены в виде рисунков 1–3.

Температура насыщения нефти парафином составила 25 °С. При температурах 30 и 40 °С отложений не зафиксировано, поэтому данные результаты не учитываются.

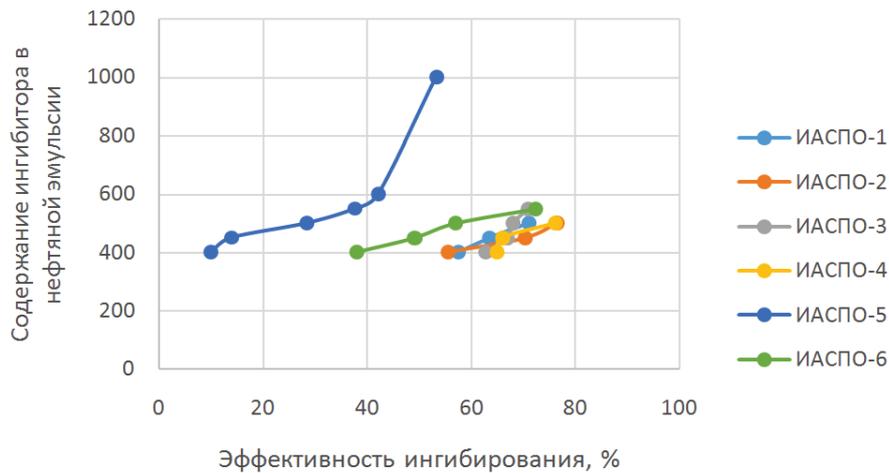


Рис. 1. График зависимости эффективности ингибирования от содержания ингибитора в нефтяной эмульсии при $t = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

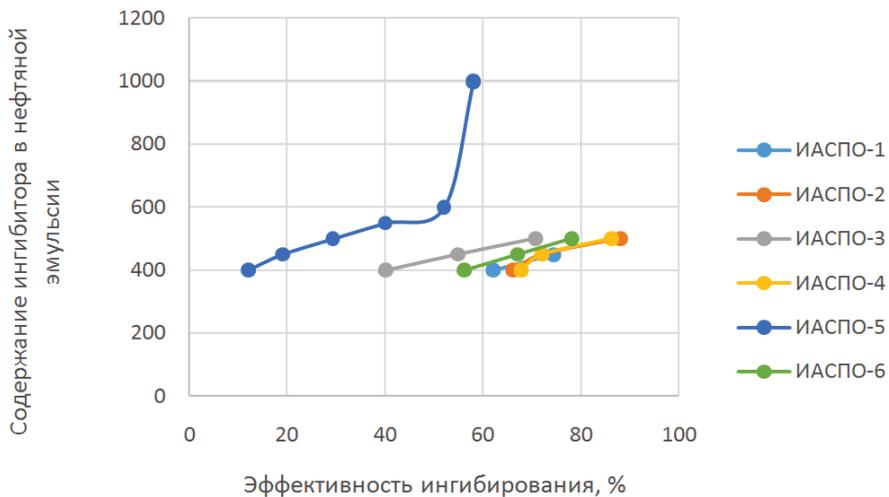


Рис. 2. График зависимости эффективности ингибирования от содержания ингибитора в нефтяной эмульсии при $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

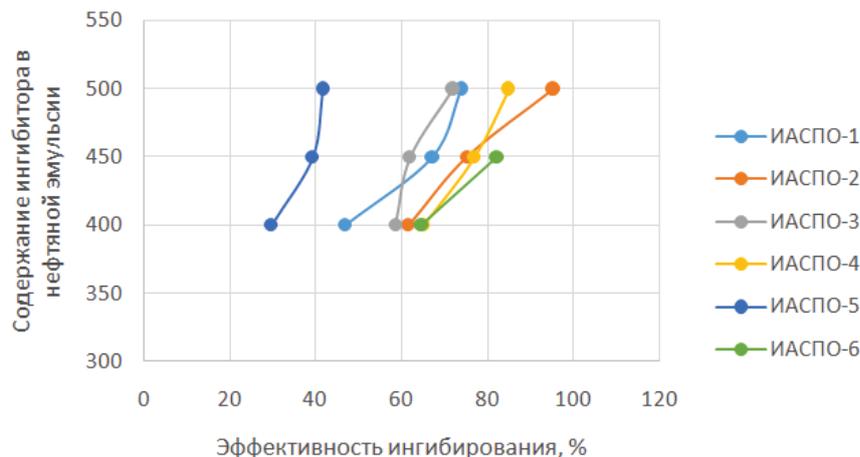


Рис. 3. График зависимости эффективности ингибирования от содержания ингибитора в нефтяной эмульсии при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результаты определения эффективности ингибирующего действия испытуемых образцов на пробе нефти с нефтесборного нефтепровода при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ приведены в таблице.

Результаты определения ингибирующей активности пробы нефти с нефтесборного трубопровода при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Наименование образцов ингибиторов	Эффективность ингибирования, % при содержании ингибитора, г/т						
	350	400	450	500	550	600	650
ИАСПО-1	–	62,0	72,0	100,0	–	–	–
ИАСПО-2	–	65,5	76,5	100,0	–	–	–
ИАСПО-3	–	59,0	74,0	89,5	–	–	–
ИАСПО-4	63,0	71,0	80,5	100,0	–	–	–
ИАСПО-5	–	–	–	48,5	–	61,5	72,5
ИАСПО-6	59,0	73,0	92,5	100,0	–	–	–

На основании полученных данных установлено, что основная эффективность ингибирования на напорном нефтепроводе при температурах $5, 10, 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигается при дозировках ингибитора $400, 450, 500, 550\text{ г/т}$.

Среди исследуемых образцов ингибиторов лучшую ингибирующую эффективность на напорном нефтепроводе показали образцы следующих ингибиторов: ИАСПО-2, ИАСПО-4, ИАСПО-6.

ИАСПО-2 имеет следующие физико-химические свойства: внешний вид: темно-коричневого цвета; структура — однородная, непрозрачная с резким запахом. Температура застывания — не выше минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура вспышки — $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кинематическая вязкость данного образца при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составила $2,50 \pm 0,01$, плотность при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $0,852 \pm 0,001\text{ г/см}^3$.

На нефтесборном трубопроводе при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ об эффективности ингибирования можно говорить при содержании ингибитора 450 г/т нефти. В данном случае лучшим результатом обладает образец ИАСПО-4. Результат

его эффективности ингибирования составляет 80,5 %. При дальнейшем увеличении содержания ингибиторов до 500 г/т нефти образцы ИАСПО-1, ИАСПО-2, ИАСПО-4, ИАСПО-6 достигают максимальной эффективности ингибирования. Только образец ИАСПО-5 имеет эффективность 48,5 % (см. табл.). Поэтому данный ингибитор не целесообразно использовать в опытно-промышленных испытаниях на исследуемом месторождении.

Выводы

Проведены испытания 6 ингибиторов АСПО на пробах нефти с двух точек отбора Кондинского месторождения.

Асфальтосмолопарафиновых отложений при температурах 30 и 40 °С не зафиксировано.

У каждого из исследуемых ингибиторов определена оптимальная дозировка, при которой достигается эффективность ингибирования 70 %.

По результатам тестирований для проведения опытно-промышленных испытаний для нефтесборного трубопровода рекомендуются следующие ингибиторы АСПО в порядке снижения рейтинга эффективности: ИАСПО-6, ИАСПО-4, ИАСПО-2.

Рекомендуемая начальная дозировка при проведении опытно-промышленных испытаний не менее 500 г/т нефти.

Библиографический список

1. Ракитин А. Р., Фофанов Б. В., Горбунов В. Ф. Предотвращение АСПО на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь». Физико-химическая характеристика осложненного фонда скважин и исследование эффективности применяемых ингибиторов АСПО // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 5–6. – С. 107–110.
2. Шадрин П. Н., Ленченкова Л. Е., Волошин А. И. Подбор ингибиторов с регулируемыми свойствами предотвращения выпадения парафина при транспортировке нефти различной вязкости [Электронный ресурс] // Нефтяная провинция. – 2016. – № 1. – С. 83–97. – Режим доступа: <https://www.vkro-gaen.com/koriya-2015-2-str-2-1>.
3. Дубовой Е. С., Хафизов Н. Н., Кузнецов А. А. Подход к оценке эффективности ингибиторов парафиноотложения // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – № 9 (4). – С. 402–407. DOI: 10.28999/2541-9595-2019-9-4-402-407
4. Диденко В. С., Николаев А. В. Исследование эффективности ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений и их влияния на реологические свойства нефти на основе нового методического подхода // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 1. – С. 106–109.
5. Ингибиторы асфальтосмолопарафиновых отложений / З. А. Хабибуллин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 2. – С. 46–49.
6. Иванова Л. В., Буров Е. А., Кошелев В. Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 1. – С. 261–284. – Режим доступа: <http://ogbus.ru/article/view/asfaltosmoloparafinovye-otlozheniya-v-processax-dobychi-transporta-i-xraneniya-2>.
7. Глушенко В. Н., Шипигузов Л. М., Юрпалов И. А. Оценка эффективности ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 84–88.
8. Глушенко В. Н., М Силин. А., Герин Ю. Г. Нефтепромысловая химия: учеб. пособие. В 5 томах. Т. 5. Предупреждение и устранение асфальтосмолопарафиновых отложений. – М.: Интерконтакт Наука, 2009. – 475 с.
9. Николаев А. В., Трейгер Л. М. Опыт разработки научных рекомендаций для проектирования системы сбора и транспорта высокозастывающей нефти в условиях недостатка информации о ее физико-химических и реологических свойствах // Технические науки – от теории к практике. – 2016. – № 10 (58) – С. 27–41.
10. Баландин Л. Н., Елашева О. М., Дубовицкая Ю. А. Проведение исследований по подбору эффективных реагентов для удаления и предотвращения образования АСПО // Естественные и технические науки. – 2017. – № 3 (105) – С. 32–37.

11. Юрецкая Т. В., Абдрашитова Ю. Н., Перекупка А. Г. Разработка композиций ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений и исследование их эффективности // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 3 – С. 100–103.
12. Корюкова С. В., Дерюгина О. П. Анализ технологических параметров с целью оптимизации работы установок подготовки нефти на Западно-Сибирских месторождениях // Новые технологии — нефтегазовому региону: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень, 2018. – С. 74–77.
13. Корюкова С. В., Дерюгина О. П. Повышение эффективности разрушения водонефтяных эмульсий путем замены деэмульгатора // Новые технологии — нефтегазовому региону: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень, 2018. – С. 77–80.
14. Madhi M., Kharrat R., Hamoule T. Screening of inhibitors for remediation of asphaltene deposits: Experimental and modeling study // Petroleum. – 2018. – Vol. 4, Issue 2. – P. 168–177. DOI: 10.1016/j.petlm.2017.08.001
15. Garreto M. S. E., Mansur C. R. E., Lucas E. F. A model system to assess the phase behavior of asphaltenes in crude oil // Fuel. – 2013. – Vol. 113. – P. 318–322. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.05.097
16. Shadman M. M., Dehaghani A. H. S., Badizad M. H. How much do you know about the methods for determining onset of asphaltene precipitation? // Petroleum. – 2017. – Vol. 3, Issue 3. – P. 287–291. DOI: 10.1016/j.petlm.2016.08.011
17. Kor P., Kharrat R. Modeling of asphaltene particle deposition from turbulent oil flow in tubing: Model validation and a parametric study // Petroleum. – 2016. – Vol. 2, Issue 4. – P. 393–398. DOI: 10.1016/j.petlm.2016.08.010

References

1. Rakitin, A. R., Fofanov, B. V., & Gorbunov, V. F. (2005). Predotvrashchenie ASPO na mestorozhdeniyakh OOO «LUKOYL-Perm». Fiziko-khimicheskaya kharakteristika oslozhnennogo fonda skvazhin i issledovanie effektivnosti primenyaemykh ingibitorov ASPO. Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields, (5-6), pp. 107-110. (In Russian).
2. Shadrina, P. N., Lenchenkova, L. E., & Voloshin, A. I. (2016). Selektion of inhibitors with controlled properties to prevent paraffin sedimentation while transportation of different-viscosity crude oils. Neftyanaya provintsiya, (1), pp. 83-97. (In Russian). Available at: <https://www.vkro-raen.com/kopiya-2015-2-str-2-1>
3. Dubovoy, E. S., Khafizov, N. N., & Kuznetsov, A. A. (2019). An approach to assessing the performance of paraffin inhibitors. Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation, 9(4), pp. 402-407. (In Russian). DOI: 10.28999/2541-9595-2019-9-4-402-407
4. Didenko, V. S., & Nikolaev, A. V. (2014). Study of asphaltene-resin-paraffin deposits inhibitors and their effect on oil flow characteristics based on new methodic approach. Oil Industry, (1), pp. 106-109. (In Russian).
5. Khabibullin, Z. A., Galimov, Zh. F., Khafizov, A. R., Ishmakov, R. M., Zalyatov, M. M., & Ibragimov, N. G. (1997). Ingibitory asfal'tosmoloparafinykh otlozheniy. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz, (2), pp. 46-49. (In Russian).
6. Ivanova, L. V., Burov, E. A., & Koshelev, V. N. (2011). Asphaltene-resin-paraffin deposits in the processes of oil production, transportation and storage. Neftegazovoye delo, (1), pp. 268-284. (In Russian). Available at: <http://ogbus.ru/article/view/asfaltosmoloparafinye-otlozheniya-v-processax-dobychi-transporta-i-xraneniya-2>
7. Glushchenko, V. N., Shipiguzov, L. M., & Yurpalov, I. A. (2007). Otsenka effektivnosti ingibitorov asfal'tosmoloparafinykh otlozheniy. Oil Industry, (5), pp. 84-88. (In Russian).
8. Glushchenko, V. N., Silin, M. A., & Gerin, Yu. G. (2009). Neftepromyslovaya khimiya. V 5 tomakh. Tom 5. Preduprezhdenie i ustranenie asfal'tenosmoloparafinykh otlozheniy. Moscow, Interkontakt Nauka Publ., 475 p. (In Russian).
9. Nikolaev, A., & Treyger, L. (2016). Experience in the development of research recommendations for engineering of technologically reliable transport of high pour point oil in gathering system under the conditions of insufficient information on physicochemical and rheological characteristics. Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike, (10(58)), pp. 27-41. (In Russian).

10. Balandin, L. N. Elashva, O. M., & Dubovitskaya, Yu. A. (2017). Provedenie issledovaniy po podboru effektivnykh reagentov dlya udaleniya i predotvrashcheniya obrazovaniya ASPO. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, (3(105)), pp. 32-37. (In Russian).
11. Yuretskaya, T. V., Abdrashitova, Yu. N., & Perekupka A. G. (2010). Development and study of the effectiveness of asphaltic-resinous-paraffin deposits inhibitors compositions. *Oil Industry*, (3), pp. 100-103. (In Russian).
12. Koryukova, S. V., & Deryugina, O. P. (2018). Analiz tekhnologicheskikh parametrov s tsel'yu optimizatsii raboty ustanovok podgotovki nefti na Zapadno-Sibirskikh mestorozhdeniyakh. *Novye tekhnologii - neftegazovomu regionu: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Tyumen, pp. 74-77. (In Russian).
13. Koryukova, S. V., & Deryugina, O. P. (2018). Povyshenie effektivnosti razrusheniya vdoneftyanykh emul'siy putem zameny deemul'gatora. *Novye tekhnologii - neftegazovomu regionu: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Tyumen, pp. 77-80. (In Russian).
14. Madhi, M., Kharrat, R., & Hamoule, T. (2018). Screening of inhibitors for remediation of asphaltene deposits: Experimental and modeling study. *Petroleum*, 4(2), pp. 168-177. (In English). DOI: 10.1016/j.petlm.2017.08.001
15. Garreto, M. S. E., Mansur, C. R. E., & Lucas, E. F. (2013). A model system to assess the phase behavior of asphaltenes in crude oil. *Fuel*, 113, pp. 318-322. (In English). DOI: 10.1016/j.fuel.2013.05.097
16. Shadman, M. M., Dehaghani, A. H. S., & Badizad, M. H. (2017). How much do you know about the methods for determining onset of asphaltene precipitation? *Petroleum*, 3(3), pp. 287-291. (In English). DOI: 10.1016/j.petlm.2016.08.011
17. Kor, P., & Kharrat, R. (2016). Modeling of asphaltene particle deposition from turbulent oil flow in tubing: Model validation and a parametric study. *Petroleum*, 2(4), pp. 393-398. (In English). DOI: 10.1016/j.petlm.2016.08.010

Сведения об авторах

Скворцова Елена Николаевна, к. т. н.,
доцент кафедры переработки нефти и газа,
Тюменский индустриальный университет, г.
Тюмень, e-mail: skvortsovaen@tyuiu.ru

Дерюгина Ольга Павловна, к. т. н.,
доцент кафедры переработки нефти и
газа, Тюменский индустриальный универ-
ситет, г. Тюмень

Information about the authors

Elena N. Skvortsova, Candidate of Engi-
neering, Associate Professor at the Department
of Oil and Gas Processing, Industrial Universi-
ty of Tyumen, e-mail: skvortsovaen@tyuiu.ru

Olga P. Deryugina, Candidate of Engi-
neering, Associate Professor at the Department
of Oil and Gas Processing, Industrial Universi-
ty of Tyumen