

doi:10.25689/NP.2019.3.129-140

УДК 622.276.72

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДУЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО
ДЛЯ БОРЬБЫ С АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫМИ
ОТЛОЖЕНИЯМИ**

**Башмур К.А., Петровский Э.А., Геращенко Ю.А., Маколов В.А.,
Шадчина Ю.Н.**

Сибирский Федеральный Университет

**HYDRODYNAMIC MODULAR UNIT FOR PREVENTING
ASPHALT-RESIN-PARAFFIN DEPOSITS**

**Bashmur K.A., Petrovsky E.A., Geraschenko Yu.A., Makolov V.A.,
Shadchina Yu.N.**

Siberian Federal University

E-mail: bashmur@bk.ru

Аннотация. В последние годы одним из осложняющих факторов нефтедобычи является образование асфальтосмолопарафиновых отложений на поверхности насосно-компрессорных труб. В связи с этим необходимы усовершенствованные методы борьбы со скважинными отложениями.

Применение гидродинамического метода для предотвращения и удаления скважинных отложений с внутренних стенок насосно-компрессорных труб является одним из перспективных методов.

В данной работе была изучена проблема образования асфальтосмолопарафиновых отложений в скважинном оборудовании, которая приводит к ряду негативных последствий. Рассмотрены и проанализированы методы предотвращения отложений и удаления уже образовавшихся отложений.

Выявлены основные недостатки существующих методов. Предложен усовершенствованный гидродинамический метод, который лишен проблемы перекрытия проходного сечения ствола насосно-компрессорных труб.

Метод предполагает собой специальное оборудование, включающее в себя прямоточный завихритель. Разработан скважинный технологический модуль с прямоточным завихрителем потока текучей среды.

При прохождении потока через прямоточный завихритель идет его преобразование в пульсирующий турбулентный поток флуктуациями давления в

периферийной зоне, при этом происходит перераспределение скоростей потока. Что ведет к воздействию на стенки трубы.

Проведено моделирование потока в завихрителе с помощью программного обеспечения SolidWorks Flow Simulation. Было выявлено, что увеличение температуры нефтегазового потока положительно влияет на предотвращение образования отложений на стенках оборудования. Проанализированы графики завихренности и температуры потока.

Авторами статьи выявлено, что увеличение интенсивности закрутки потока интенсифицирует тепловыделение в системе. В результате моделирования показана эффективность конструкции и выявлено наиболее удачное сечение завихрителя.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения, скважинные отложения, предотвращение, насосно-компрессорные трубы, скважинное оборудование, гидродинамическое воздействие, завихритель.

Abstract. In recent years, formation of asphalt-resin-paraffin deposits on the inner surface of tubing strings has been one of the main complicating factors in oil production. Consequently, it is necessary to move in the direction of improved methods directed at eliminating and preventing the formation of asphalt-resin-paraffin deposits.

The application of the hydrodynamic method to prevent and remove borehole deposits from the inner walls of tubing has become one of the promising methods.

The study identified the problem concerning the formation of asphalt-resin-paraffin deposits in downhole equipment which leads to a number of negative consequences. Methods for deposits preventing and removing already formed deposits were considered and analyzed.

The main disadvantages of existing methods were identified. The improved hydrodynamic method is proposed which is free of the problem of blocking the flow section of the tubing string.

The method involves special equipment including a direct-flow swirler. The downhole process module with fluid direct-flow swirler has been developed.

When the fluid flow passes through the direct-flow swirler it is converted into a pulsating turbulent flow by pressure fluctuations in the peripheral zone, flow velocities redistribution takes place. This leads to effects on the walls of the tubing.

Simulation flow modeling in the direct-flow swirler was carried out using the SolidWorks Flow Simulation software. It was found out that increasing the temperature of the oil and gas flow has a positive effect on preventing the deposits formation on equipment walls. The graphs of swirling and flow temperature were analyzed.

The authors of the article revealed that an increase in the intensity of the flow swirling intensifies heat release in the system. As a result, the simulation proved the effectiveness of the design and revealed the right cross-section of the swirler.

Key words: asphalt-resin-paraffin deposits, borehole deposits, preventing, tubing, downhole equipment, hydrodynamic effect, swirler

Современный этап эксплуатации нефтяных и газовых месторождений мира можно охарактеризовать ростом числа осложняющих факторов. Одним из таких факторов является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (далее АСПО) на поверхности нефтепромыслового оборудования, в частности в насосно-компрессорных трубах (НКТ) и скважинном оборудовании [1].

Ввиду образования и осаждения АСПО уменьшается проходное сечение НКТ, возникает ряд негативных последствий, в частности значительно снижается добыча углеводородов, а также увеличивается потребление электроэнергии для их откачки. Быстрее выходит из строя нефтепромысловое оборудование, ухудшаются показатели добываемого сырья, закупориваются продуктивные поры пласта и ухудшаются его фильтрационные характеристики. Нередки ситуации, когда АСПО могут привести к полному перекрытию живого сечения НКТ и остановке добычи сырья.

Все эти факторы крайне негативно влияют на экономику добычи углеводородов. Таким образом, очевидно, что борьба с образованием АСПО в скважине является важнейшей задачей нефтегазовой отрасли.

Отложения возникают при сцеплении с поверхностью уже образованных в потоке частиц или при образовании и росте кристаллов на поверхности оборудования, в частности на периферийной зоне НКТ [2].

Ключевыми факторами, влияющими на их образование, являются: изменение температурного градиента по длине НКТ и скорость нефтегазового потока [3].

Методы, применяемые для борьбы с АСПО в нефтепромысловом оборудовании, предполагают два направления: предотвращение образования и удаление уже сформировавшихся образований (Рис. 1).

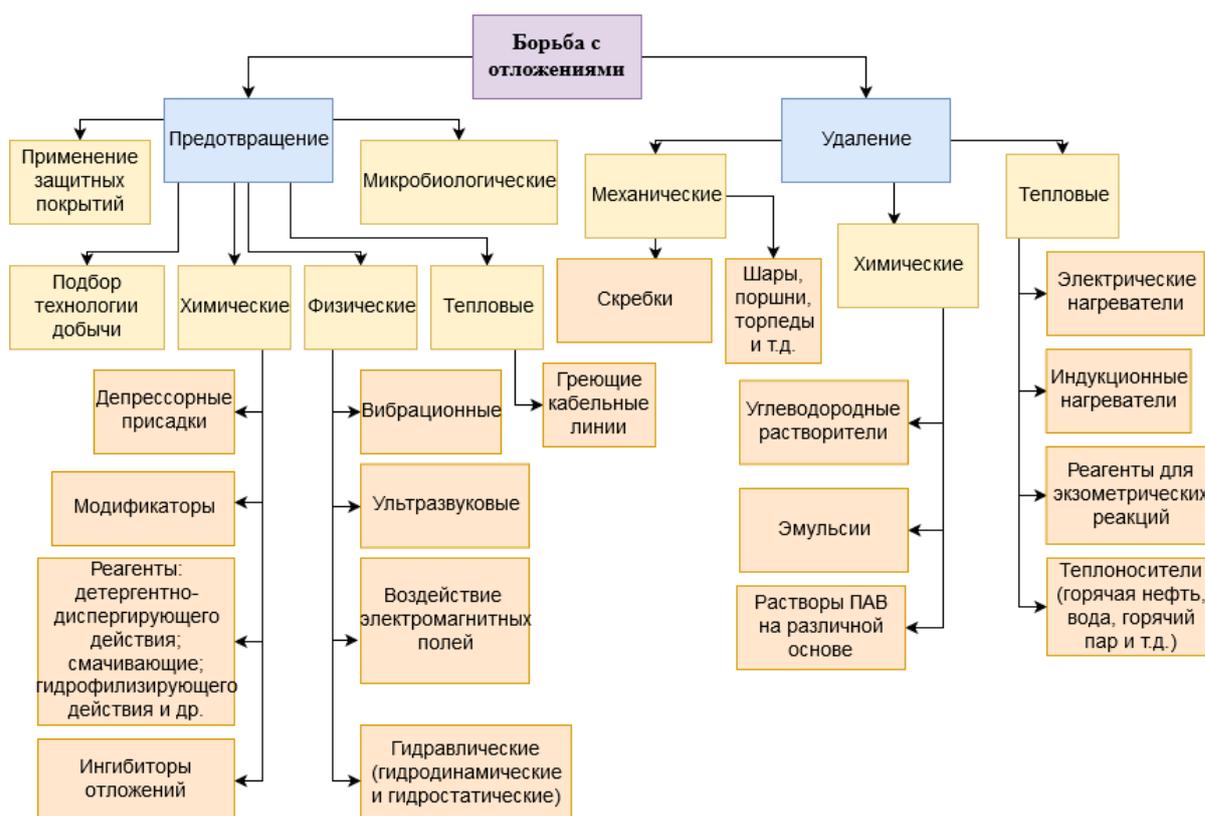


Рис. 1. Методы предотвращения и удаления скважинных отложений

Большинство современных методов предотвращения или удаления отложений на стенках труб требуют остановки прохождения потока через трубу, а также подвода внешней энергии.

Метод нанесения специальных покрытий на стенку трубы малоэффективен, так как покрытия достаточно быстро растрескиваются, истираются и уносятся потоком [4].

Применение физических методов может вызвать разрушение или самоотвинчивание резьбовых соединений НКТ, кроме того они отличаются сложностью подбора оптимальных условий проведения обработки.

Использование химических растворителей для предотвращения и удаления скважинных отложений может негативно сказаться на качестве нефтегазового потока и привести к ускоренной коррозии оборудования.

Механические методы удаления отложений заключаются в использовании специальных скребков, которые зачастую застревают в

скважине, а также царапают стенки НКТ, что ускоряет выход оборудования из строя.

Одним из самых перспективных методов предотвращения отложений является гидродинамическое воздействие на внутренние стенки НКТ. Основная проблема существующих гидродинамических скважинных устройств – высокая степень перекрытия проходного сечения ствола НКТ, что создает высокие гидравлические сопротивления и, следовательно, потерю напора флюида в скважине.

Ввиду вышесказанного авторами статьи был разработан гидродинамический метод предотвращения образования скважинных отложений с помощью закрутки текучей среды [5].

Метод характеризуется тем, что при прохождении потока через прямоточный завихритель происходит его преобразование в пульсирующий турбулентный поток с флуктуациями давления в периферийной зоне, при этом происходит перераспределение скоростей потока.

При прохождении потока в завихрителе на него осуществляется дополнительное воздействие по перераспределению скорости закрутки потока путем последовательного вовлечения слоев потока, начиная с граничного, при придании потоку дополнительной закрутки вращающимся завихрителем.

Это ведет к созданию флуктуаций давления потока, воздействующих на стенки трубы, предотвращающих образование отложений и способствующих повышению температуры потока.

Стоит отметить, данный метод предполагает, что можно заранее практически достоверно определить места образования отложений в НКТ.

Для осуществления вышеуказанного метода был разработан скважинный технологический модуль с прямоточным завихрителем потока текучей среды (Рис. 2).

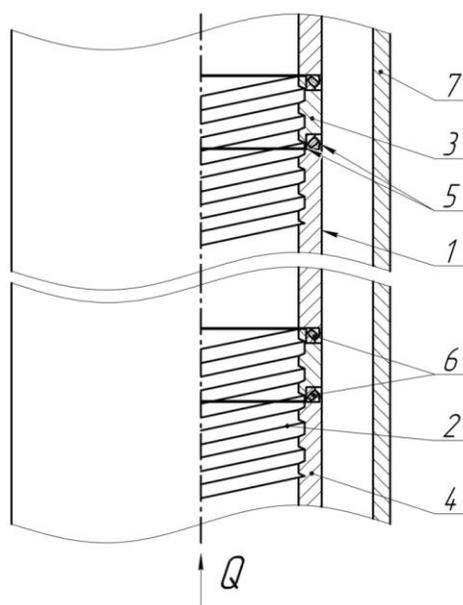


Рис. 2. Технологический модуль для борьбы со скважинными отложениями:
1 - цилиндрическое тело; 2 – рельеф; 3 – вращающаяся часть; 4 – неподвижная часть; 5 – торец; 6 – подшипник; 7 – кожух

Технологический модуль для борьбы со скважинными отложениями (Рис. 2) представляет собой полое цилиндрическое тело 1 с нанесенным внутренним рельефом 2 и состоит из чередующихся вращающихся 3 и неподвижных 4 частей. В торцах 5 полого цилиндрического тела 1 с внешней стороны части 3 и с внутренней стороны части 4 выполнены кольцевые площадки под установку опорно-центрирующих подшипников 6 (например, конических роликовых подшипников). При необходимости полое цилиндрическое тело 1 может быть защищено от внешних факторов кожухом 7.

При попадании потока на вращающиеся части с рельефом происходит перераспределение скоростей с осевой в сторону увеличения угловой, следствием чего является более глубокое и последовательное вовлечение слоев жидкости, начиная с граничного слоя, приводящее к высокому градиенту давления и турбулентным пульсациям в периферийной зоне. Поток препятствует образованию отложений, так как сила касательных напряжений выше сил сцепления между отложениями (кристаллами парафиновых углеводородов) и поверхностью трубы.

Технологический модуль на основе прямоточного завихрителя в отличие, например, от лопаточных завихрителей потока, практически не перекрывает живое сечение трубы и мало зависит от свойств потока.

Стоит сказать, что в завихрителях, частично перекрывающих проходное сечение трубы, эффективность завихрения потока зависит от профиля навивки, шага расположения и количества оборотов [6].

Для проверки работоспособности и эффективности, разработанных способа и устройства для борьбы со скважинными отложениями авторами статьи, было проведено гидродинамическое моделирование в программном обеспечении SolidWorks Flow Simulation.

Исходные данные для моделирования нефтегазового потока через прямоточный завихритель представлены в табл. 1. Моделирование производилось для разного количества витков и шага навивки завихрителей с прямоугольным, треугольным, полукруглым, трапецеидальным и синусоидальным профилями. Рабочая модель завихрителя с трапецеидальным профилем навивки представлена на рис. 3.

Гидродинамическое моделирование, проведенное в SolidWorks Flow Simulation, позволило получить влияние профиля завихрителя, шага закрутки и количество оборотов на закрутку потока.

Выявлено, что наиболее эффективны завихрители с 30 оборотами. Максимальный показатель завихренности наблюдается у устройства с трапецеидальным профилем (Рис. 3).

Таблица 1

Исходные данные для моделирования

Длина наребления, м	0,9
Внешний диаметр завихрителя, м	0,073
Внутренний диаметр завихрителя, м	0,062
Входная скорость потока, м/с	5
Давление в скважине, МПа	15
Пластовая температура, К	350

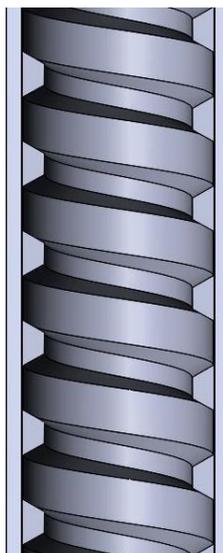


Рис. 3. Модель завихрителя с трапецидальным профилем навивки

График завихренности прямого завихрителя с трапецидальным профилем в зависимости от длины траектории движения нефтегазового потока по его виткам представлен на рис. 4.

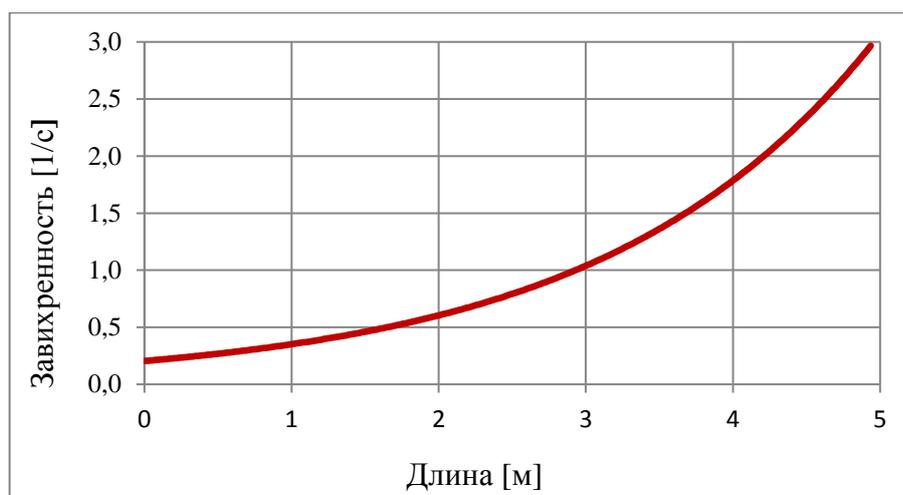


Рис. 4. График завихренности потока для устройства с трапецидальным профилем в зависимости от длины траектории движения потока

Исследования показывают, что увеличение температуры нефтегазового потока положительно влияет на предотвращение образования отложений на стенках оборудования [7, 8]. Авторами статьи выявлено, что увеличение интенсивности закрутки потока интенсифицирует тепловыделение в системе. График зависимости температуры потока от длины его траектории показан на рис. 5.

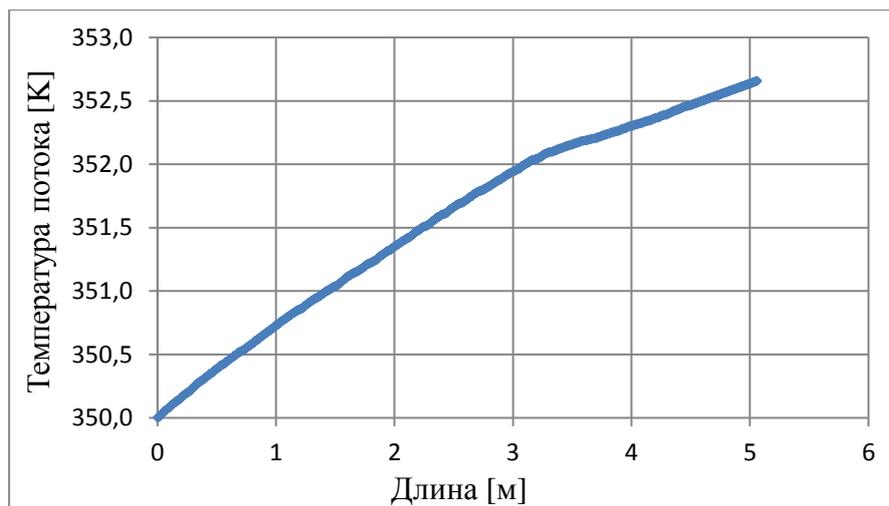


Рис. 5. График температуры потока для устройства с трапециевидальным профилем в зависимости от длины траектории движения потока

Из полученных графиков видно, что использование разработанного модуля для борьбы с отложениями на основе прямоточного завихрителя в НКТ позволяет эффективно закрутить нефтегазовый поток, что способствует предотвращению образования и нарастания отложений. Кроме того, при использовании модуля увеличивается температура потока среды, что препятствует образованию и кристаллизации твердых осадков. В частности, при использовании соединенной цепочки таких модулей возможно существенное увеличение завихренности и температуры потока. Таким образом, видны эффективность предложенного способа предотвращения образования отложений в скважине и работоспособность технологического модуля. Актуальны дальнейшие исследования прямоточных завихрителей, в частности, определение их оптимальных параметров в зависимости от характеристик скважины и добываемого сырья, а также экспериментальные испытания. Использование подобных завихрителей в нефтегазовой сфере актуально и в составе других устройств и комплексов [9].

В программном комплексе SolidWorks были получены устройства с различными профилями сечения, количеством витков и шагом навивки. С помощью имитационного моделирования нефтегазового потока в модуле

Flow Simulation авторами статьи была подтверждена гипотеза о том, что для предотвращения образования отложений можно эффективно использовать прямоточные завихрители потока. Было выявлено, что для лучшего перемешивания потока целесообразно использовать завихритель с трапецеидальным профилем, так как он обладает лучшими показателями завихренности и интенсификации тепловыделений.

Список литературы

1. Сорокин А.В., Хавкин А.Я. Особенности физико-химического механизма образования АСПО в скважинах // Бурение & нефть. – 2007. – № 10. – С. 30-31.
2. Белкина С.А., Нагаева С.Н. Причины образования асфальтосмолопарафинистых образований в НКТ // Вестник Югорского государственного университета. – 2016. – № 3 (42). – С. 7-11.
3. Иванова Л.В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения // Нефтегазовое дело. – 2011, – № 1. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/IvanovaLV/IvanovaLV_1.pdf
4. Протасов В.Н., Мурадов А.В. Методологические основы выбора материалов полимерных покрытий для предотвращения образования значительных отложений парафинов и минеральных солей на внутренней поверхности нефтегазопроводных труб // Территория нефтегаз. – 2008. – № 3. – С. 36-43.
5. Башмур К.А., Петровский Э.А. Завихритель и способ закрутки потока текучей среды, скважинный электрогенератор, содержащий завихритель потока текучей среды и способ генерирования электроэнергии в скважине // Патент РФ № 2695735. – 2019.
6. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно – энергетических установок // М. : Физмалит. – 2010. – 288 с.
7. Вдовин Э.Ю., Локшин Л.И., Казаков А.В. Компенсация тепловых потерь – эффективный способ предотвращения АСПО и ВВЭ в скважинах // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. № 7 (25). – С. 35-37.
8. Киселев Н.А. Промышленные котельные установки // Л. : Госэнергоиздат. – 1960. – 392 с.
9. Петровский Э.А., и др. Рельефные завихрители потока для газовых двигателей компрессорных установок // Экспозиция Нефть Газ. – 2019. – № 4 (71). – С. 89-91.

References

1. Sorokin A.V., Khavkin A.Ya. *Osobennosti fiziko-khimicheskogo mekhanizma obrazovaniya ASPO v skvazhinakh* [Features of physical and chemical mechanism of production asphalted, resinous and of paraffin formations in the wells] // *Burenie & nefit'*. – 2007. – № 10. – pp. 30-31 (in Russian)

2. Belkina S.A., Nagayeva S.N. *Prichiny obrazovaniya asfal'tosmoloparafiniykh obrazovaniy v NKT* [The reasons of the formation of asphalt-resin-paraffin formations in the tubing] // *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2016. – № 3 (42). – pp. 7-11 (in Russian)
3. Ivanova L.V., Burov E.A., Koshelev V.N. *Asfal'tosmoloparafinovyye otlozheniya v protsessakh dobychi, transporta i khraneniya* [Asphaltene-resin-paraffin deposits in the processes of oil production, transportation and storage] // *Neftegazovoye delo*. – 2011, – № 1 URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/IvanovaLV/IvanovaLV_1.pdf (in Russian)
4. Protasov V.N., Muradov A.V. *Metodologicheskiye osnovy vybora materialov polimernykh pokrytiy dlya predotvrashcheniya obrazovaniya znachitel'nykh otlozheniy parafinov i mineral'nykh soley na vnutrenney poverkhnosti neftegazoprovodnykh trub* [Methodological basis for the selection of polymer coating materials to prevent the formation of significant deposits of paraffins and mineral salts on the inner surface of oil and gas pipes] // *Territoriya neftegaz*. – 2008. – № 3. – pp. 36-43 (in Russian)
5. Bashmur K.A., Petrovsky E.A. *Zavikhritel' i sposob zakrutki potoka tekuchey sredy, skvazhinnyy elektrogenerator, soderzhashchiy zavikhritel' potoka tekuchey sredy i sposob generirovaniya elektroenergii v skvazhine* [Swirler and fluid flow swirling method, well electric generator comprising fluid flow swirler, and method for generating electric power in well] // Patent RU № 2695735. – 2019 (in Russian)
6. Mitrofanova O.V. *Gidrodinamika i teploobmen zakruchennykh potokov v kanalakh yaderno – energeticheskikh ustanovok* [Hydrodynamics and Heat Transfer of Swirling Flows in Channels of Nuclear Power Facilities] // Moscow : Fizmatlit. – 2010. – 288 p. (in Russian)
7. Vdovin E.Yu., Lokshin L.I., Kazakov A.V. *Kompensatsiya teplovykh poter' – effektivnyy sposob predotvrashcheniya ASPO i VVE v skvazhinakh* [Compensation of heat losses – effective way prevent asphaltene deposition and highly viscous in wells] // *Ekspozitsiya Neft' Gaz*. – 2012. № 7 (25). – pp. 35-37 (in Russian)
8. Kiselev N.A. *Promyshlennyye kotel'nyye ustanovki* [Industrial boiler plants] // Leningrad : Gosenergoizdat. – 1960. – 392 p. (in Russian)
9. Petrovsky E.A., et al. *Rel'yefnyye zavikhriteli potoka dlya gazovykh dvigatelei kompressornykh ustanovok* [Relief swirlers for gas engine-compressor units] // *Ekspozitsiya Neft' Gaz*. – 2019. – № 4 (71). – pp. 89-91 (in Russian)

Сведения об авторах

Башмур Кирилл Александрович, старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, г.Красноярск, Российская Федерация
E-mail: bashmur@bk.ru

Петровский Эдуард Аркадьевич, доктор технических наук, профессор заведующий кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, г.Красноярск, Российская Федерация
E-mail: petrovsky_quality@mail.ru

Герашенко Юлия Александровна, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, г.Красноярск, Российская Федерация
E-mail: geraschenko.iul@yandex.ru

Маколов Вадим Андреевич, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, г.Красноярск, Российская Федерация
E-mail: vadik0597@yandex.ru

Шадчина Юлия Николаевна, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, г.Красноярск, Российская Федерация
E-mail: ulia.sh72@yandex.ru

Authors

Bashmur K.A., Assistant Professor, Department of Process machines and facilities for oil and gas sector, Oil and Gas Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: bashmur@bk.ru

Petrovsky E.A., Dr.Sc, Professor, Head of Department of Process machines and facilities for oil and gas sector, Oil and Gas Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: petrovsky_quality@mail.ru

Geraschenko Yu.A., Master Student, Department of Process machines and facilities for oil and gas sector, Oil and Gas Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: geraschenko.iul@yandex.ru

Makolov V.A., Master Student, Department of Process machines and facilities for oil and gas sector, Oil and Gas Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: vadik0597@yandex.ru

Shadchina Yu.N., Master Student, Department of Process machines and facilities for oil and gas sector, Oil and Gas Institute of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: ulia.sh72@yandex.ru

Башмур Кирилл Александрович
660041 Российская Федерация
г. Красноярск, пр. Свободный, 82, стр. 6.
Тел.: +7 (391) 206 28 93
E-mail: bashmur@bk.ru