

УДК 620.197.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ИНГИБИТОРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КАВИТАЦИИ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

И. Ф. ХАФИЗОВ, Р. М. СУЛТАНОВ, Д. Р. БАКИРОВ, Р. Х. БАКИРОВ, Е. А. СПЫНУ

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

Российская Федерация, г. Уфа

E-mail: ildar.hafizov@mail.ru, sultanov55@mail.ru, damir.bakirov.99@mail.ru,
bakirov_robert@mail.ru, pkpb@mail.ru

В данной статье анализируется проблема коррозии магистральных трубопроводов, являющихся критически важными для транспортировки нефти, газа и воды, а также как источник значительных экономических и экологических потерь. Помимо экономических потерь, также остро стоит вопрос пожарной безопасности, поскольку коррозия трубопроводов ведет не только к утечкам и экологическим катастрофам, но и к повышенной вероятности возникновения пожаров вследствие разлива горючих материалов и нарушения целостности системы.

Исследование сосредоточено на сравнительной оценке эффективности ингибиторов коррозии: состава на основе полиакрилата натрия и промышленного ингибитора ВИКОР, под влиянием кавитационного воздействия; кавитационно-вихревого воздействия, имитирующего условия, способствующие образованию микропузырьков и нарушению формирования защитного адсорбционного слоя. Для определения защитных свойств применялся гравиметрический метод, позволяющий на основе измерения потери массы стальных образцов в агрессивной среде с ингибитором и без него рассчитать скорость коррозии и степень защиты.

Параллельные эксперименты проводились с периодическим ультразвуковым воздействием, результаты которых, представленные в виде таблиц и графиков, показали снижение эффективности ингибиторов: для полиакрилата натрия – с 89 % до 64-75 %, для ингибитора ВИКОР – до 70-80 %.

Таким образом, результаты исследования подчёркивают необходимость совершенствования методов ингибиторной защиты и оптимизации условий применения для повышения надежности трубопроводных систем, обеспечения безопасности транспортировки углеводородов и сокращения расходов на замену коррозионно разрушенных элементов инфраструктуры.

Ключевые слова: пожарная опасность, кавитация, кавитационно-вихревое воздействие, коррозия; скорость коррозии; ингибитор, полиакрилат натрия.

STUDY OF INHIBITOR DEGRADATION UNDER THE INFLUENCE OF CAVITATION AND ITS IMPLICATIONS FOR FIRE SAFETY OF FACILITIES

I. F. KHAFIZOV, R. M. SULTANOV, D. R. BAKIROV, R. H. BAKIROV, E. A. SPYNU

Ufa State Petroleum Technical University,

Russian Federation, Ufa

E-mail: ildar.hafizov@mail.ru, sultanov55@mail.ru, damir.bakirov.99@mail.ru,
bakirov_robert@mail.ru, pkpb@mail.ru

This article analyses the problem of corrosion of trunk pipelines, which are critical for the transportation of oil, gas and water, as well as a source of significant economic and environmental losses. In addition to economic losses, the issue of fire safety is also acute, as corrosion of pipelines leads not only to leaks and environmental disasters, but also to an increased probability of fires due to the spillage of combustible materials and violation of the integrity of the system.

The research is focused on the comparative evaluation of the effectiveness of corrosion inhibitors: sodium polyacrylate-based formulation and industrial inhibitor VIKOR, under the influence of cavitation action. Cavitation-vortex impact, simulating the conditions that promote the formation of microbubbles and disruption of the formation of protective adsorption layer. To determine the protective properties the gravimetric method was used, which allows to calculate the corrosion rate and the degree of protection on the basis of measuring the mass loss of steel samples in an aggressive environment with and without inhibitor.

Parallel experiments were carried out with periodic ultrasonic influence, the results of which, presented in the form of tables and graphs, showed a decrease in inhibitor efficiency: for sodium polyacrylate – from 89 % to 64-75 %, for VIKOR inhibitor – to 70-80 %.

Thus, the results of the study underline the need to improve inhibitor protection methods and optimise application conditions to improve the reliability of pipeline systems, ensure the safety of hydrocarbon transportation and reduce the cost of replacing corrosion-damaged infrastructure elements.

Keywords: fire hazard, cavitation, cavitation-vortex effect, corrosion, corrosion rate, inhibitor, sodium polyacrylate.

Введение

В настоящее время трубопроводный транспорт является ключевым элементом современной инфраструктуры, обеспечивающим транспортировку нефти, газа, воды и других жизненно важных ресурсов на значительные расстояния. Только на территории Российской Федерации в эксплуатации находится по меньшей мере 350 тыс. километров промысловых трубопроводов. Однако, несмотря на свою незаменимость, эта отрасль сталкивается с серьезной проблемой – коррозией, которая оказывает разрушительное воздействие на целостность трубопроводов, приводя к авариям, утечкам, загрязнению окружающей среды и значительным экономическим потерям.

Статистика свидетельствует о том, что коррозия является одной из основных причин аварий и отказов на трубопроводном транспорте. По данным, описанным в работах [1, 3], до 90 % всех отказов на магистральных трубопроводах происходит по причине коррозионного износа. Лишь немногим более половины трубопроводных систем способны выдержать пятилетний срок эксплуатации. Остальные 42 % выходят из строя раньше, а 17 % демонстрируют отказы в работе уже в первые два года после ввода в эксплуатацию. Большинство отказов не только приводят к потере транспортируемого продукта, но и представляют серьезную угрозу для жизни людей, экологической и пожарной безопасности прилегающих территорий и стабильности работы энергетической отрасли в целом.

Магистральные нефтепродуктопроводы представляют собой значительную пожарную опасность, обусловленную как их протяженностью, так и характером транспортируемого сырья. В случае аварийных ситуаций нефть, перекачиваемая по таким трубопроводам, способна растекаться на обширные территории, создавая условия для масштабных пожаров. Особую угрозу представляет процесс ликвидации последствий разлива нефти, так как в зоне аварии могут находиться различные источники воспламенения, включая искры от работы оборудования, остаточное электричество, открытое

пламя, нагретые поверхности и даже статическое электричество. [2]

Актуальность проблемы коррозии обусловлена существенной разницей между экспоненциальным ростом потерь, вызванных коррозионными процессами, и наращиванием объемов производства металла [3, 4]. Только в Российской Федерации ежегодно коррозионное разрушение нефтепромысловых трубопроводов приводит к замене огромного количества стали – от 400 до 500 тысяч тонн. Это соответствует 7–8 тысячам километров трубопроводных сетей. Подобные масштабы потребления ресурсов указывают на острую необходимость в совершенствовании стратегий борьбы с коррозией и необходимость поиска эффективных решений для её предотвращения и контроля.

Методы борьбы с коррозией. На данный момент известно огромное количество методов борьбы с коррозией, применяемых на магистральных трубопроводах. Среди наиболее распространенных и изученных можно выделить [5]:

1. Применение защитных покрытий.

Внешняя и внутренняя поверхность труб покрывается специальными материалами, которые препятствуют контакту металла с агрессивной средой. Такие покрытия могут быть полимерными, битумными, композитными или даже комбинированными.

2. Катодная и анодная защита.

Катодная защита работает за счёт подачи отрицательного электрического потенциала на трубопровод, что препятствует окислению металла. Анодная защита, напротив, применяется в редких случаях и предполагает создание на металле защитной плёнки за счёт искусственной пассивации.

3. Использование специальных материалов.

Производство труб из нержавеющей стали, либо добавление легирующих элементов, таких как хром, никель или титан, может существенно снизить коррозионную активность металла.

4. Контроль транспортируемой среды.

Для снижения уровня коррозии в магистральных трубопроводах применяются методы обработки самой среды. Это может быть удаление кислорода, нейтрализация кислотности, а также введение специальных химических добавок для стабилизации среды.

5. Использование ингибиторов коррозии.

Введение в транспортируемую среду различных соединений, позволяющих существенно замедлить коррозионные процессы. Эти соединения взаимодействуют с поверхностью металла трубопровода, создавая тонкий, но устойчивый адсорбционный слой.

Несмотря на разнообразие существующих методов, ингибиторная защита остаётся одним из лучших и наиболее универсальных вариантов защиты от коррозии, поскольку они отличаются:

- простотой эксплуатации;
- небольшой стоимостью, в сравнении с другими методами;
- универсальностью.

Тем не менее, создание и внедрение новых ингибиторов с высокой эффективностью и экологической безопасностью продолжают оставаться важными задачами, которые требуют учета технологических характеристик производственных процессов. [6]

Влияние кавитации на скорость коррозии при ингибиторной защите.

С целью повышения эффективности защиты коррозионного ингибитора были выполнены исследования с применением кавитационно-вихревого воздействия.

Кавитация представляет собой физическое явление, при котором в жидкости образуются микроскопические пустоты или пузырьки, заполненные газом, паром или их сочетаниями. Это происходит вследствие возникновения локальных областей пониженного давления в среде. В зависимости от условий, приводящих к формированию таких пустот, выделяют несколько типов кавитации:

- Гидродинамическая кавитация – развивается при резком повышении скорости потока жидкости, что приводит к снижению давления и образованию пузырьков в участках с высокой динамической активностью.
- Акустическая кавитация – возникает под воздействием интенсивных звуковых волн, когда фаза разрежения создает необходимые условия для формирования пустот.

Получившиеся кавитационные пузырьки, устремляясь в зону повышенного давления, быстро схлопываются, высвобождая значительное количество энергии в виде ударных волн. Этот процесс особенно ярко проявляется в местах, где происходит переход от ламинарного течения к турбулентному, например, в зонах срывов потока на острых углах или кромках.

Несмотря на то, что сам по себе процесс кавитации может вызывать негативные последствия, такие как эрозия материалов или повреждение оборудования, его уникальные свойства нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Так, эффект схлопывания пузырьков используется для:

- гомогенизации и эмульгирования жидких смесей;
- интенсификации химических реакций за счёт повышения скорости массопереноса и локального увеличения температуры;
- стерилизации жидких сред;
- физического измельчения твёрдых частиц до микроскопических размеров в суспензиях. [7]

Метод исследования

Исследования по определению степени защитных свойств ингибитора на основе полиакрилата натрия проводились гравиметрическим методом. Суть данного метода заключается в определении потери массы испытуемых образцов, находящихся в ингибируемой и неингибируемой агрессивных средах. В качестве испытуемых образцов использовались металлические пластины марки Сталь 3, испытуемой средой выступала пластовая вода, изготовленная по ГОСТ 9.506-87¹ в объеме 200 мл для каждого образца.

Скорость коррозии (V_k) в $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ вычисляли по формуле:

$$V_k = \frac{M_1 - M_2}{S \cdot t} \quad (1)$$

где: M_1 – масса образца до испытания, г; M_2 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, м^2 ; t – время испытания, ч.

Степень защиты ингибиторов коррозии вычисляли по формуле:

$$Z = \frac{V_{k0} - V_{ki}}{V_{k0}} \quad (2)$$

¹ ГОСТ 9.506-87 Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. М: Госстандарт СССР, 1987.

где: $V_{ко}$ – скорость коррозии образцов в не ингибированной среде, $г/м^2 \cdot ч$; $V_{ки}$ – скорость коррозии образцов в ингибированной среде, $г/м^2 \cdot ч$.

В роли ингибитора применялся состав, базирующийся на полиакрилате натрия со среднемассовой молекулярной массой (M_w) ≤ 20000 , который синтезировался посредством радикальной полимеризации. Эта методика подробно описана в исследованиях [8, 9] и дополнена в соответствии с подходами, представленными в работе [10].

Перед проведением испытаний производилась подготовка металлических пластин. Методика, по которой подготавливались пластины, подробно описана в ГОСТ 9.506-87.

Проведение испытания.

Для проведения экспериментов использовался 17%-ный раствор ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия, который предварительно подвергался обработке с помощью аппарата кавитационно-вихревого воздействия. В дальнейшем нужное количество этого раствора добавляли непосредственно в агрессивную испытываемую среду, после чего заранее подготовленные металлические пластины помещали в неё на интервал 6 часов.

Параллельно с этим проводилось периодическое кавитационное воздействие на агрессивную среду, содержащую ингибитор, с интервалом 15, 30 и 45 минут, выполняемое четырёхкратно в течение всего периода испытания. По окончании эксперимента образцы подвергались детальному визуальному анализу.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения массы потерянного материала с поверхности образцов применялась следующая последовательность мероприятий: первоначально с помощью специального ластика удаляли коррозионный слой, после чего образцы последовательно промывали сначала под проточной, а затем в дистиллированной воде. Затем поверхности высушивали фильтровальной бумагой, обезжиривали с использованием ацетона, упаковывали в фильтровальную бумагу и выдерживали в эксикаторе с влагопоглотителем на протяжении одного часа. Завершающим этапом являлось точное взвешивание на аналитических весах с высокой точностью.

Результаты эксперимента приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия с воздействием ультразвука и без

Условия испытания	Эффективность 17 %-го раствора ингибитора на основе полиакрилата натрия 50мг/л
Без ультразвука	89%
С ультразвуком через 15 минут 4 раза	91 %
С ультразвуком через 30 минут 4 раза	77 %
С ультразвуком через 45 минут 4 раза	64 %

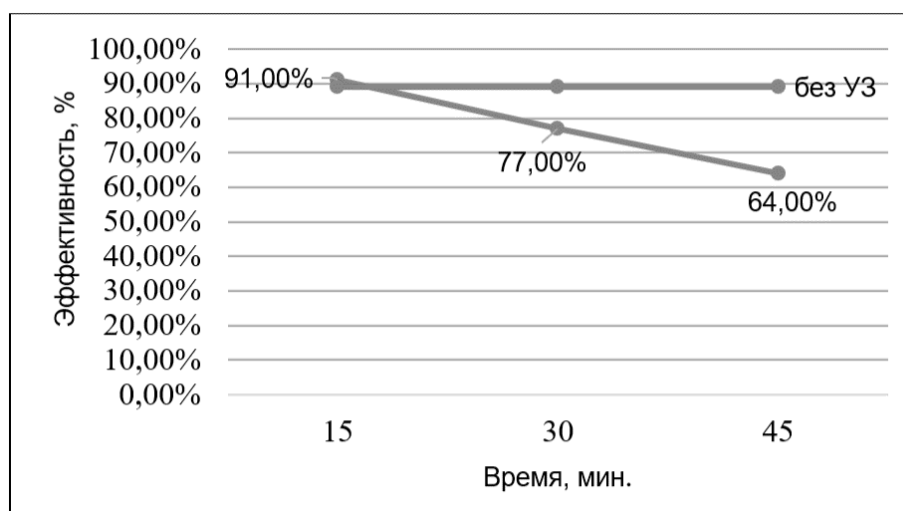


Рис. 1. Сравнительный график, показывающий динамику эффективности ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия в зависимости от времени для случаев с генератором кавитации и без

Из рис. 1 видно, что эффективность демонстрируемого ингибитора коррозии под воздействием кавитационно-вихревого диспергатора снижается. Это связано с тем, что при ультразвуковом воздействии молекулы ингибитора коррозии не адсорбируются на поверхности металла и не способны образовать защитную пленку. Так из высокоэффективного ингибитора коррозии он становится средне- и низкоэффективным.

Также для сравнительного анализа аналогичный эксперимент был проведен с промышленным ингибитором ВИКОР, условия проведения опыта были полностью аналогичны предыдущему, концентрации остались неизменными.

Ингибитор ВИКОР предназначен для защиты металлических поверхностей от коррозии, особенно в агрессивных средах (кислоты, щелочи, растворы солей).

Принцип действия основан на создании защитного слоя на металле, который препятствует контакту агрессивных веществ с поверхностью. Этот слой может быть адсорбционным (молекулы ингибитора прикрепляются к металлу) или пассивирующим (образуется в результате реакции с компонентами среды), что замедляет электрохимические процессы коррозии.

Результаты эксперимента приведены на табл. 2 и рис. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний ингибитора коррозии ВИКОР с воздействием ультразвука и без

Условия испытания	Эффективность 1 %-го раствора ингибитора на основе полиакрилата натрия 50мг/л
Без ультразвука	92,5 %
С ультразвуком через 15 минут 4 раза	70,5 %
С ультразвуком через 30 минут 4 раза	77,6 %
С ультразвуком через 45 минут 4 раза	79,3 %

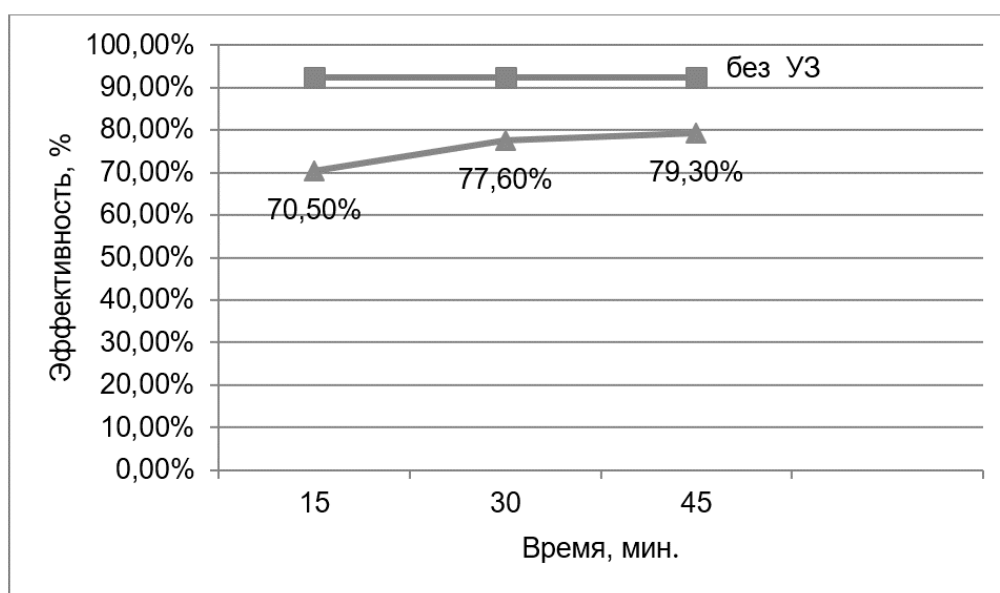


Рис. 2. Сравнительный график, показывающий динамику эффективности ингибитора коррозии ВИКОР в зависимости от времени для случаев с генератором кавитации и без

Ингибитор коррозии по своим защитным характеристикам является высокоэффективным, а после кавитационно-вихревого воздействия становится низкоэффективным, что подтверждает негативное воздействие кавитации, которая приводит к разрушению химических связей и защитной пленки, служащей преградой для коррозионного воздействия между

транспортируемыми углеводородами и материалом трубопроводов [1]

Заключение

Проведенное исследование подтвердило критическую значимость проблемы коррозии на магистральных трубопроводах, используемых для транспортировки нефти, газа и

воды. Использование гравиметрического метода позволило объективно оценить защитные свойства ингибиторов коррозии на основе полиакрилата натрия и промышленного состава ВИКОР. Экспериментально установлено, что использование кавитационно-вихревого диспергатора оказывает значительное влияние на свойства ингибиторов коррозии, приводя к разрушению их химических связей. В результате этого эффективность ингибиторов коррозии снижается. Так эффективность ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия снижается с 89 % до 64–75 %, а ингибитора коррозии ВИКОР снижается до 70–80 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность ингибиторных составов может варьироваться в зависимости

от прикладных условий, таких как интенсивность ультразвукового воздействия. Это, в свою очередь, влияет не только на долговечность трубопроводных систем, но и на пожарную безопасность объектов, поскольку поврежденные участки трубопроводов повышают риск разлива горючих материалов и возникновения пожаров.

Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейших исследований и оптимизации составов ингибиторов с учетом эксплуатационных особенностей и воздействия внешних факторов. Повышение надежности методов ингибиторной защиты способно обеспечить снижение экономических потерь, улучшение экологической ситуации, а также повышение уровня пожарной безопасности в сфере транспортировки углеводородов.

Список литературы

1. Исследование влияния кавитационно-вихревых воздействий на степень защиты ингибиторов коррозии / И. Ф. Хафизов, О. Д. Халикова, А. С. Килинбаева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 4 (112). С. 102–105. DOI: 10.31660/0445-0108-2015-4-102-105.

2. Ибрагимов Н. Г., Хафизов А. Р., Шайдаков В. В. Осложнения в нефтедобыче: монография. Уфа, 2003. 302 с.

3. Energy Coupling to Nitrite Respiration in the Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovibrio Gigas* / L. L. Barton, J. Le Gall, J. M. Odom [et al.]. *Journal of Bacteriology*, 1983, vol. 2 (123), pp. 867–871. DOI: 10.1128/jb.153.2.867-871. 1983.

4. The Effect of Microstructure on Microbiologically Influenced Corrosion / D. Walsh, D. Pope, M. Danford [et al.]. *JOM*, 1993, vol. 45, pp. 22–30. DOI: 10.1007/BF03222429.

5. Серебряков А. Н. Коррозия нефтепромышленного оборудования и мероприятия противокоррозионной защите на нефтяном месторождении Каракудук (Западный Казахстан) // Вестник Российского университета дружбы народов. 2017. Т. 18, № 2. С. 174–181.

6. Решетников С. М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. Л.: Химия, 1986. 144 с.

7. Применение кавитационно-вихревого эффекта в аппарате абсорбции сернистых соединений из нефти / Ф. Ш. Хафизов [и др.] // Известия вузов. Нефть и газ. 2012. № 4. С. 74–78.

8. Гришин Д. Ф., Гришин И. Д. Современные методы контролируемой радикальной полимеризации для получения новых материалов с заданными свойствами. Электронное учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. 48 с.

9. Georges V., Kazmeier H. Free Radical Polymerization. *Macromolecules*, 1993. vol. 26. p. 5316.

10. Композиции на основе акрилатных сополимеров и фуллеренов / М. В. Успенская, Н. В. Сиротинкин, В. А. Горский [и др.] // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. № 5. С. 870–872.

References

1. Issledovanie vliyaniya kavitatsionno-vikhrevykh vozddeystviy na stepen zashchity ingibitorov korrozii [Investigation of the Influence of Cavitation-Vortex Effects on the Degree of Protection of Corrosion Inhibitors] / I. F. Khafizov, O. D. Khalikova, A. S. Kilinbaeva [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*, 2015. vol. 4(112), pp. 102–105. DOI 10.31660/0445-0108-2015-4-102-105.

2. Ibragimov N. G., Khafizov A. R., Shaidakov V. V. *Oslozhneniya v nefte dobyche: monografiya* [Complications in Oil Production: Monograph]. Ufa, 2003, 302 p.

3. Energy Coupling to Nitrite Respiration in the Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovibrio Gigas* / L. L. Barton, J. Le Gall, J. M. Odom [et al.]. *Journal of Bacteriology*, 1983, vol. 2 (123), pp. 867–871. DOI: 10.1128/jb.153.2.867-871. 1983.

4. The Effect of Microstructure on Microbiologically Influenced Corrosion / D. Walsh, D. Pope, M. Danford [et al.]. *JOM*, 1993, vol. 45, pp. 22–30. DOI: 10.1007/BF03222429.

5. Serebryakov A. N. Korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya i meropriyatiya protivokorroziionnoy zashchity na neftyannom mestorozhdenii Karakuduk (Zapadnyy Kazakhstan) [Corrosion of Oil Production Equipment and Anti-Corrosion Protection Measures at the Karakuduk Oil Field (Western Kazakhstan)]. *Vestnik Rossiyskogo Universiteta Druzhby Narodov*, 2017, vol. 18, issue 2, pp. 174–181.

6. Reshetnikov S. M. Inhibitory kislотноy korrozii metallov [Inhibitors of Acid Corrosion of Metals]. *Leningrad: Khimiya*, 1986, 144 p.

7. Primeneniye kavitatsionno-vikhrevogo effekta v apparate absorptsii sernistykh soedineniy iz nefti [Application of the Cavitation-Vortex Effect in the Absorption Apparatus for Sulfur Compounds from Oil]. F. S. Khafizov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Neft' i gaz*, 2012, issue 4, pp. 74–78.

8. Grishin D. F., Grishin I. D. *Sovremennye metody kontroliruemoy radikal'noy polymerizatsii dlya polucheniya novykh materialov s zadannymi svoystvami. Elektronnoe uchebnoe posobie*

[Modern methods of controlled radical polymerisation for obtaining new materials with specified properties. Electronic textbook]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2010, 48 p.

9. Georges V., Kazmeier H. Free Radical Polymerization. *Macromolecules*, 1993, vol. 26, p. 5316.

10. Kompozitsii na osnove akrilatnykh sopolimerov i fullerenev [Compositions based on acrylate copolymers and fullerenes] / M. V. Uspenskaya, N. V. Sirotinkin, V. A. Gorskii [et al.]. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2006, vol. 79, issue 5, pp. 870–872.

Хафизов Ильдар Фанилевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

доктор технических наук, профессор

e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Khafizov Ildar Fanilevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,

Russian Federation, Ufa

doctor of technical sciences, professor

e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Султанов Рифкат Мухатъярович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

доктор химических наук, профессор

e-mail: sultanov55@mail.ru

Sultanov Rifkat Mukhatyarovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,

Russian Federation, Ufa

doctor of chemical sciences, professor

e-mail: sultanov55@mail.ru

Бакиров Дамир Робертович,

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

аспирант

e-mail: damir.bakirov.99@mail.ru

Bakirov Damir Robertovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,

Russian Federation, Ufa

postgraduate student

e-mail: damir.bakirov.99@mail.ru

Бакиров Роберт Хамзович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

старший преподаватель

e-mail: bakirov_robert@mail.ru

Bakirov Robert Khamzovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,
Russian Federation, Ufa
senior lecturer
e-mail: bakirov_robert@mail.ru

Спыну Евгений Андреевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
аспирант
e-mail: pkpb@mail.ru

Spynu Evgeny Andreevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,
Russian Federation, Ufa
postgraduate student
e-mail: pkpb@mail.ru