ПОДБОР И ПИЛОТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРА ПРОЦЕССА ОЛИГОМЕРИЗАЦИИ НЕФТЕЗАВОДСКИХ ГАЗОВ

SELECTION AND PILOT TESTS OF THE EFFECTIVE METHOD OF REGENERATION THE CATALYST OF THE OIL REFINING GASES OLIGOMERIZATION PROCESS

А.Р. Давлетшин
Artur R. Davletshin

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

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Ю.А. Хамзин
Yunir A. Khamzin

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

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Е.А. Ипатова
Ekaterina A. Ipatova

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

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

А.Э. Шадрина
Aigul E. Shadrina

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

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Р.Р. Ширязданов
Rishat R. Shiryazdanov

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

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Р.Ф. Талипов
Rifkat F. Talipov

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

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Несмотря на распространенность и эффективность метода окислительной регенерации катализаторов, известно, что применение данного метода приводит к необратимым процессам дезактивации и спекания. Исследование подходов регенерации и поиск альтернативных эффективных методов восстановления активности катализаторов являются актуальной задачей. В настоящей работе представлены результаты применения различных подходов регенерации катализатора олигомеризации на основе модифицированного монтмориллонита. Методом дифференциально-термического анализа установлено, что эффективность экстрактивной регенерации сверхкритическим диоксидом углерода и бензол-толуол-ксилольной (БТК) фракцией, последний подход позволяет восстановить активность катализатора практически до уровня свежего образца. С целью определения эффективности и стабильности работы катализатора в процессе олигомеризации бутан-бутиленовой фракции, в комплексе с регенерацией БТК-фракцией, на пилотной установке проведены пилотные испытания в течение 4000 ч, и доказана высокая эффективность разработанного технического решения для получения углеводородов C_6-C_9 .

Ключевые слова

окислительная регенерация,
сверхкритические флюидные
технологии, олигомеризация,
монтмориллонит,
бензол-толуол-ксилольная
фракция, экстракция,
бутан-бутиленовая фракция

Despite the prevalence and effectiveness of the method of oxidative regeneration of catalysts, it is known that the application of this method leads to irreversible deactivation and sintering processes. The study of regeneration approaches and the search for alternative effective methods for restoring the activity of catalysts are an actual task. In the present work, the results of application of various approaches of regeneration of the oligomerization catalyst based on modified montmorillonite are presented. The efficiency of extractive regeneration by supercritical carbon dioxide and benzene-toluene-xylene (BTX) fraction has been established by the differential thermal analysis method, the latter approach allows restoring the catalyst activity practically to the level of a fresh sample. In order to determine the efficiency and stability of the catalyst during the oligomerization of the butane-butylene fraction, in complex with the regeneration of the BTX fraction, pilot tests were carried out for 4000 hours, and the high efficiency of the developed technical solution for the production of C_6 – C_9 hydrocarbons was proved.

Key words

oxidative regeneration, supercritical fluid technologies, oligomerization, montmorillonite, benzene-toluene-xylene fraction, extraction, butane-butylene fraction

Введение

В процессе олигомеризации легких олефинов возможно применение различных катализаторов, однако на практике используются силикафосфатные и на основе цеолитов. Это связано с относительно высокой стоимостью большинства катализаторов, сложностью составов и технологий их производства [1].

Основным показателем эффективности процесса олигомеризации олефинов является активность катализатора, которая снижается в ходе его эксплуатации, межрегенерационный пробег катализаторов составляет от 15 до 30 сут. Регенерация катализаторов производится при значительном снижении их активности, которая не может быть компенсирована изменениями параметров режима в допустимых пределах [2]. Основной причиной дезактивации катализаторов является отложение на активных каталитических центрах коксогенных структур.

Основным методом удаления высокомолекулярных продуктов уплотнения с поверхности активных центров гетерогенных катализаторов является окислительная регенерация с использованием кислородсодержащих смесей. Как правило, для регенерации катализаторов применяется азотно-воздушная смесь температурой 500–600 °C [4–6].

Анализ исследования концентрации кислорода на степень и скорость окисления углерода изучал Н.В. Лавров [7]. Установлено, что при средней концентрации O_2 до 10 % реакция окисления имеет 1-й порядок по кислороду, с увеличением концентрации кислорода порядок реакции переходит в нулевой. Исследование влияния концентрации кислорода на скорость процесса окислительной регенерации описаны, в частности, в [8].

Методами дифференциально-термического, рентгенофазового анализов и низкомолекулярной адсорбции азота [9] исследовано изменение свойств Pt-промотированного катализатора на алюмооксидном носителе в процессе промышленной эксплуатации на производстве ОАО «Нижнекамскнефтехим». В течение 17–22 тыс. ч работы катализатора установлено, что режим окислительной паровоздушной регенерации дезактивированного катализатора способствует изменениям пористой структуры образца катализатора и фазового состава его носителя. Длительный окислительный выжиг прекурсоров кокса и гидротермальный режим приводят к формированию в составе носителя крупнокристаллического бемита и увеличению размеров кристаллов $\gamma-Al_2O_3$. Определено, что традиционный промышленный режим регенерации дезактивированного катализатора не приводит к полному удалению высокомолекулярных отложений. Углеводородные продукты уплотнения заполняют мезопоры в диапазоне $D_n = 50–150 \text{ \AA}$.

Ранее авторами были синтезированы суперкислотные катализаторы олигомеризации бутан-бутеновой и пропан-пропеновой фракций на основе гетерополиокислот, нанесенных на нанокompозитный кислотно-активированный монтмориллонит. Установлено, что при температуре 170 °C максимальный выход углеводородов C_6 – C_9 достигается на катализаторе образца К-2/3 и составляет 42,7 % масс. Физико-химические характеристики исследуемого образца катализатора: V_n — 0,36 см³/г; $S_{уд}$ — 290 м²/г; содержание N_i — 4,0 % масс. [3].

Целью работы является исследование применения различных методов регенерации гетерогенного катализатора олигомеризации

легких олефинов на основе модифицированного монтмориллонита.

Экспериментальная часть

Процесс олигомеризации бутан-бутиленовой фракции с последующей регенерацией проводили с использованием синтезированного ранее катализатора на пилотной установке с объемом реактора 500 см³.

Углеводородный состав полученных продуктов реакции определяли на газовом хроматографе серии «Хроматэк-Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором и высокоэффективной капиллярной колонкой типа НР-1 (DB-1) 50 м × 0,21 мм × 0,5 мкм.

Методами дифференциально-термического анализа (ДТА) и термогравиметрического анализа (ТГА) были получены дериватограммы образцов закоксованного и регенерированного катализатора. Анализ проводили на установке Thermoscan-2, предназначенной для определения температур и оценки теплоты фазовых переходов и других процессов, связанных с выделением или поглощением тепла, а также для определения температуры и величины потери веса образцов в процессе нагрева.

Обсуждение экспериментальных данных

На первом этапе исследования после проведения процесса олигомеризации и сни-

жения выхода целевых углеводородов до 31,4% масс. проводили регенерацию азотокислородной смесью при температуре 550 °С и давлении 0,5 МПа в течение 24 ч. Лимитирующим пределом эффективной работы катализатора является выход целевых углеводородов 1,4 г/г бутена, дальнейшая эксплуатация катализатора приводит к увеличению доли реакций поликонденсации с образованием высокомолекулярных углеводородов.

Дифференциально-термический анализ образца дезактивированного катализатора, как и ожидалось, выявил наличие значительного количества высокомолекулярных углеводородов. Экзотермический тепловой эффект их удаления в процессе анализа имеет бимодальный характер кривой ДТА (рисунок 1). Это связано с зависимостью удаления предшественников кокса с различной молекулярной массой от изменения температуры термогравиметрического анализа.

Результаты анализа регенерированного катализатора олигомеризации свидетельствуют об отсутствии высокомолекулярных прекурсоров кокса на образце. Первый эндотермический тепловой эффект в температурном диапазоне от 70 °С до 135 °С связан с удалением адсорбированных низкомолекулярных углеводородов и слабосвязанной воды из пор и по-

1 — ДТА закоксованный катализатор; 2 — ДТА регенерированный катализатор;
3 — ТГА-кривая образца регенерированного катализатора

Рисунок 1. Кривые термогравиметрического анализа катализатора олигомеризации после окислительной регенерации

верхности катализатора. Последующий анализ не выявил наличия высокомолекулярных отложений на катализаторе после окислительной регенерации, о чем свидетельствует характер кривой экзотермического теплового эффекта в диапазоне от 140–420 °С. Изменение потери массы образца катализатора наблюдается в незначительной степени (кривая 3). Таким образом, предлагаемый метод контролируемого окислительного выжига позволяет удалить продукты уплотнения с образца катализатора.

Далее исследована регенерация с использованием сверхкритических флюидных технологий, процесс проводили в среде сверхкритического CO_2 при температуре 90 °С и давлении 9,0 МПа в течение 24 ч.

Метод регенерации сверхкритическим диоксидом углерода позволяет в значительной степени снизить наличие адсорбированных высокомолекулярных предшественников кокса [10, 11]. Характер кривой дифференциально-термического анализа свидетельствует о высокой степени регенерации катализатора предлагаемым методом СК- CO_2 (рисунок 2).

В температурном интервале 60–130 °С наблюдается тепловой эффект, связанный с удалением адсорбированных на катализаторе низ-

комолекулярных углеводородов и влаги. Последующий экзотермический эффект проявляется в незначительной степени и указывает на удаление углеводородов большой молекулярной массы, которые являются предшественниками кокса. Пик удаления углеводородов, согласно результатам ДТА, приходится на температурный интервал 250–300 °С. Стоит отметить, что на всем интервале практически не наблюдается потеря массы исследуемого образца катализатора.

На завершающем этапе исследования проведен эксперимент с использованием экстрактивной регенерации бензол-толуол-ксилольной фракцией при температуре 150 °С, давлении 1,0 МПа и объемной скорости подачи 2–4 ч⁻¹.

В температурном интервале 60–110 °С практически одинаковыми максимумами (рисунок 3) регистрируются эндотермические тепловые эффекты удаления паров воды и низкомолекулярных углеводородов C_3 – C_4 . Слабовыраженный характер экзотермического эффекта кривой 2 демонстрирует эффективность экстрактивной регенерации БТК-фракцией. Одновременно данный процесс сопровождается незначительной потерей массы образца.

1 — ДТА закоксованный катализатор; 2 — ДТА регенерированный катализатор;
3 — ТГА-кривая образца регенерированного катализатора

Рисунок 2. Кривые термогравиметрического анализа катализатора олигомеризации после регенерации СК- CO_2

1 — ДТА закоксованный катализатор; 2 — ДТА регенерированный катализатор;
3 — ТГА-кривая образца регенерированного катализатора

Рисунок 3. Кривые термогравиметрического анализа катализатора олигомеризации после экстрактивной регенерации БТК-фракцией

По завершению экспериментов по применению различных методов регенерации катализатора олигомеризации бутан-бутиленовой фракции исследована каталитическая активность регенерированных образцов.

Исследованием активности катализатора после окислительной регенерации (рисунок 4) установлено, что выход целевых углеводородов C_6-C_9 снижется с 42,7 % масс. до 21,8 % масс. Существенное снижение клю-

чевого показателя, предположительно, связано со спеканием зерна катализатора, и, как следствие, ведет к снижению площади его поверхности. После регенерации сверхкритическим диоксидом углерода выход углеводородов C_6-C_9 составил 38,2 % масс. Уменьшение выхода, возможно, связано с частичным вымыванием нанесенных методом пропитки активных смешанных гетерополиокислот 12 ряда структуры Кеггина. Наиболее эффективным

Рисунок 4. Зависимость выхода углеводородов C_6-C_9 в процессе олигомеризации ББФ после различных методов регенерации закоксованного катализатора

методом регенерации дезактивированного катализатора является экстрактивная регенерация БТК-фракцией. Выход целевых углеводородов C_6-C_9 снижается на 0,5 % и составляет 42,1 % масс.

С целью определения эффективности и стабильности работы катализатора в процессе олигомеризации бутан-бутиленовой фракции,

в комплексе с регенерацией БТК-фракцией, на пилотной установке проведены пилотные испытания в течение 4000 ч (рисунок 5).

После снижения выхода ключевых углеводородов C_6-C_9 процесс олигомеризации сменялся на регенерацию БТК-фракцией частично дезактивированного катализатора.

Рисунок 5. Изменение выхода углеводородов C_6-C_9 от времени в процессе олигомеризации бутан-бутиленовой фракции

Процесс регенерации проводили БТК-фракцией в течение 24 ч. В течение первых 500 ч выход C_6-C_9 углеводородов снижается на 26 % и составляет 31,4 % масс. Первый этап экстрактивной регенерации снижает значение выхода целевых углеводородов по сравнению с показателем, полученным на «свежем» образце катализатора на 3,1 % (до 41,4 % масс.). Время «активной» работы катализатора в процессе последующего режима олигомеризации бутан-бутиленовой фракции сокращается до 493 ч. В течение всего времени испытания катализатора было использовано 5 этапов экстрактивной регенерации, после каждого этапа выход ключевых углеводородов снижался на 2,6 % масс., 2,6 % масс., 2,5 % масс. и 1,8 % масс. соответственно. Таким образом, в течение 4000 ч эксплуатации катализатора с периодической экстрактивной регенерацией БТК-фракцией выход снижается на 12,2 % и составляет 37,5 % масс.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что применение контролируемого выжига предшественников кокса с катализатора на основе монтмориллонита позволяет удалять высокомолекулярные продукты

уплотнения, но приводит к необратимым процессам спекания и снижению физико-механических качеств зерна катализатора. Выход олефинов $i-C_6-C_9$ после регенерации снижается на 20,9 % масс.

Метод регенерации $SK-CO_2$ позволяет в значительной степени избавиться от высокомолекулярных продуктов уплотнения, однако после регенерации сверхкритическим диоксидом углерода выход углеводородов C_6-C_9 составил 38,2 % масс. Уменьшение выхода, возможно, связано с частичным вымыванием нанесенных методом пропитки активных смешанных гетерополикислот 12 ряда структуры Кеггина.

Наилучший эффект в процессе регенерации катализатора проявил метод с использованием бензол-толуол-ксилольной фракции. Активность исследуемого катализатора остается на уровне свежего катализатора (выход олефинов $i-C_6-C_9$ — 42,1 % масс.).

Пилотными испытаниями образца катализатора на основе модифицированного монтмориллонита в процессе олигомеризации ББФ в комплексе с регенерацией БТК-фракцией в течение 4000 ч доказана высокая эффективность разработанного технического решения

для получения олефиновых углеводородов $i\text{-C}_6\text{--C}_9$. Результаты комплекса исследований могут послужить основой для разработки промышленной технологии олигомеризации нефтезаводских газов.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Давлетшин А.Р., Хамзин Ю.А., Шириязданов Р.Р., Махмутова О.Н., Абдюшев Р.Р., Кузьменко М.Ю., Якупов Н.В., Теляшев Э.Г. Совершенствование процесса регенерации гетерогенных катализаторов с применением сверхкритических технологий // Мир нефтепродуктов. 2016. № 4. С. 33–36.

2. Боресков Г.К. Катализ. Новосибирск: Наука, 1971. 267 с.

3. Шириязданов Р.Р., Давлетшин А.Р., Вильданов Ф.Ш., Теляшев Э.Г., Рахимов М.Н., Ипатова Е.А., Абдюшев Р.Р., Хамзин Ю.А. Переработка газовых потоков нефтеперерабатывающих производств в экологически безопасные моторные топлива на катализаторах нового поколения // Химия и технология топлив и масел. 2014. № 6. С. 14–18.

4. Ameer Abed Jaddoa, Билалов Т.Р., Хайрутдинов В.Ф., Гумеров Ф.М. Регенерация катализаторов с использованием сверхкритических флюидных сред // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С. 155–158.

5. Хьюз Р. Деактивация катализаторов. М.: Химия, 1989. 280 с.

6. Лавров Н.В. Влияния температуры реакции и концентрации кислорода на скорость окисления углерода // ИАН СССР, ОТН. 1940. VIII. С. 83.

7. Жугинсов О.Ж. Исследование влияние концентрации кислорода на скорость окислительной регенерации алюмоникельмолибденового катализатора гидрокрекинга при различных температурах // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. № 6. С. 171–175.

8. Бусыгин А.А., Ламберов А.А., Егорова С.Р., Ильясов Р.И., Гильманов Х.Х., Трифонов С.В., Шатилов В.М. Изучение механизма деактивации Pd-Ag-Al₂O₃-катализатора селективного гидрирования ацетилена в процессе промышленной эксплуатации // Катализ в промышленности. 2006. № 3. С. 34–42.

9. Масагутов Р.М. Регенерация катализаторов в нефтепереработке и нефтехимии. М.: Химия, 1987. 144 с.

10. Галлямов Р.Ф., Сагадеев А.А., Гумеров Ф.М., Сагадеев К.А., Габитов Ф.Р. Исследование процесса регенерации катализатора «Никель на кизельгуре» с использованием модифицированного сверхкритического диоксида углерода // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 5. С. 103–111.

11. Богдан В.И., Коклин А.Е., Казанский В.Б. Регенерация дезактивированных палладиевых катализаторов селективного гидрирования ацетилена сверхкритическим CO₂ // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2006. Т. 1. № 2. С. 5–12.

Работа проведена в рамках выполнения проектной части государственного задания № 10.1448.2017/4.6.

1. Davletshin A.R., Khamzin Yu.A., Shiriyazdanov R.R., Makhmutova O.N., Abdushev R.R., Kuz'menko M.Yu., Yakupov N.V., Telyashev E.G. Sovershenstvovaniye protsessa regeneratsii geterogennykh katalizatorov s primeneniye sverkhkriticheskikh tekhnologiy [Improving the Process of Regeneration of the Heterogeneous Catalysts Using Supercritical Technologies]. *Mir nefteproduktov — World of Oil Products*, 2016, No. 4, pp. 33–36 p. [in Russian].

2. Boreskov G.K. Kataliz. [Catalysis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1971. 267 p. [in Russian].

3. Shiriyazdanov R.R., Davletshin A.R., Vil'danov F.Sh., Telyashev E.G., Rakhimov M.N., Ipatova E.A., Abdushev R.R., Khamzin Yu.A. Pererabotka gazovykh potokov neftepererabatyvayushchikh proizvodstv v ekologicheski bezopasnyye motornyye topliva na katalizatorakh novogo pokoleniya [Processing Refinery Gas Streams into Environmentally Friendly Motor Oils on Next-Generation Catalysts]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel — Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2014, No. 6, pp. 14–18. [in Russian].

4. Ameer Abed Jaddoa, Bilalov T.R., Khayrutdinov V.F., Gumerov F.M. Regeneratsiya katalizatorov s ispol'zovaniyem sverkhkriticheskikh flyuidnykh sred [Regeneration of Catalysts Using Supercritical Fluid Media]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Herald of Kazan Technological University*, 2014, Vol. 17, No. 19, pp. 155–158.

5. Huse R. *Dezaktivatsiya katalizatorov* [Deactivation of Catalysts]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 280 p. [in Russian].

6. Lavrov N.V. Vliyaniya temperatury reaktsii i kontsentratsii kisloroda na skorost' okisleniya ugleroda [Effects of the Reaction Temperature and Oxygen Concentration on the Oxidation Rate of Carbon]. *IAN SSSR, OTN*, 1940, VIII. 83 p. [in Russian].

7. Zhuginsov O.Zh. Issledovaniye vliyaniye kontsentratsii kisloroda na skorost' okislitel'noy regeneratsii alyumonikel'molibdenovogo katalizatora gidrokrekinga pri razlichnykh temperaturakh [Investigation of the Effect of Oxygen Concentration on the Rate of Oxidative Regeneration of an Aluminikelmolybdenum Hydrocracking Catalyst at Various Temperatures]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Herald of Astrakhan State Technical University*, 2008, No. 6, pp. 171–175. [in Russian].

8. Busygin A.A., Lamberov A.A., Yegorova S.R., Il'yasov R.I., Gil'manov Kh.Kh., Trifonov S.V., Shatilov V.M. Izucheniye mekhanizma dezaktivatsii Pd-Ag-Al₂O₃-katalizatora selektivnogo gidrirovaniya atsetilena v protsesse promyshlennoy ekspluatatsii [Study of the Deactivation Mechanism of the Pd-Ag-Al₂O₃ Catalyst for Selective Hydrogenation of Acetylene during Commercial

REFERENCES

Operation]. *Kataliz v promyshlennosti — Catalysis in Industry*, 2006, No. 3, pp. 34–42. [in Russian].

9. Masagutov R.M. Regeneratsiya katalizatorov v neftepererabotke i neftekhimii [Catalyst Regeneration in Oil Refining and Petrochemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1987. 144 p. [in Russian].

10. Gallyamov R.F., Sagadeev A.A., Gumerov F.M., Sagadeev K.A., Gabitov F.R. Issledovanie protsessa regeneratsii katalizatora «Nikel' na kizel'gure» s ispol'zovaniem modifitsirovannogo sverkhkriticheskogo dioksida ugleroda [Investigation of the Catalyst Regeneration Process «Nickel on Kieselguhr» Using Modified Supercritical Carbon

Dioxide]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Herald of Kazan Technological University*, 2010, No. 5, pp. 103–111. [in Russian].

11. Bogdan V.I., Koklin A.E., Kazanskii V.B. Regeneratsiya dezaktivirovannykh palladievnykh katalizatorov selektivnogo gidrirovaniya atsetilena sverkhkriticheskim SO₂ [Regeneration of Deactivated Palladium Catalysts for the Selective Hydrogenation of Acetylene by Supercritical CO₂]. *Sverkhkriticheskie flyuidy: teoriya i praktika — Supercritical Fluids: Theory and Practice*, 2006, Vol. 1, No. 2, pp. 5–12. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Давлетишин Артур Раисович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Artur R. Davletshin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: davletshinar@list.ru

Ипатов Екатерина Андреевна, аспирант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Ekaterina A. Ipatova, Post-graduate Student of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ipatovaea@gmail.com

Ширязданов Ришат Рифкатович, д-р техн. наук, доцент кафедры «Газохимия и моделирование химико-технологических процессов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rishat R. Shiriayazdanov, Doctor of Engineering Sciences, Assistant Professor of Gas Chemistry and Modeling of Chemical-Technological Processes Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: petroleum9@bk.ru

Хамзин Юнир Азаматович, ассистент кафедры «Газохимия и моделирование химико-технологических процессов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Yunir A. Khamzin, Assistant of Gas Chemistry and Modeling of Chemical-Technological Processes Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: Yunirkh@bk.ru

Шадрина Айгуль Эльшадовна, аспирант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aigul E. Shadrina, Post-graduate Student of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: aigul188@mail.ru

Талипов Рифкат Фаатович, д-р хим. наук, профессор кафедры «Физическая и органическая химия», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rifkat F. Talipov, Doctor of Chemical Sciences, Professor of Physical and Organic Chemistry Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: talipovrf@mail.ru