

Подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана в реакторах Р 2 отделений тонкой очистки гелия Оренбургского гелиевого завода

Татьяна А. Курякова	¹	tany_kur1975@mail.ru
Евгений А. Федоров	²	tany_kur1975@mail.ru
Лариса В. Межуева	³	larisam57@mail.ru
Артём В. Быков	³	artem19782@yandex.ru

¹ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина филиал в г. Оренбурге, ул. Юных Ленинцев, 20, г. Оренбург, 460047, Россия

² ООО «Газпром добыча Оренбург», ул. Чкалова, 1/2, г. Оренбург, 460058, Россия

³ Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия

Аннотация. В данной статье представлен обзор перспективных катализаторов, выполнен подбор наиболее эффективного, рассчитан экономический эффект внедрения нового катализатора. Произведен подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана, протекающей в реакторе Р-2 отделения тонкой очистки гелия установки получения гелия из гелиевого концентрата. Для обеспечения технологического процесса в производстве продукции на предприятиях химической, газоперерабатывающей и нефтеперерабатывающей промышленности применяют катализаторы разной модификации и типов как отечественного, так и импортного производства. Для стабильной работы и высокой скорости окисления водорода и метана, протекающей в реакторе Р-2 отделения тонкой очистки гелия из гелиевого концентрата установки-22 Оренбургского гелиевого завода применяют алюмоплатиновый катализатор АП-56. Участвующий в процессах окисления катализатор АП-56 в связи с усовершенствованием технологического процесса не удовлетворяет нормам, установленным в технологическом регламенте, в том числе происходит увеличение концентраций водорода, а это в свою очередь ухудшает качество бензиновых фракций, кроме того катализатор АП-56 промотирован хлором, способствующим развитию коррозии на теплообменном оборудовании, расположенном после реактора. Вышеперечисленные обстоятельства заставили производителей сократить выпуск алюмоплатинового катализатора АП-56. Рассмотрена наиболее производительная среди блоков тонкой очистки установка, которая включает в себя 3 аналогичных отделения производительностью до 400 $\text{nm}^3/\text{ч}$ по сырью. Для подтверждения эффективности работы подобранных катализаторов на существующем оборудовании и для внедрения, были произведены технологические расчеты блока каталитической очистки, и определены основные показатели процесса.

Ключевые слова: катализаторы, реактор, окисление, водород, метан, конденсация, давление

The selection of catalysts that provide stability and high oxidation rate of hydrogen and methane in the reactors R 2 compartments of helium Orenburg helium plant

Tatyana A. Kuryakova	¹	tany_kur1975@mail.ru
Evgeniy A. Fedorov	²	tany_kur1975@mail.ru
Larisa V. Meghueva	³	larisam57@mail.ru
Artem V. Bykov	³	artem19782@yandex.ru

¹ RSU of oil and gas (NSU) branch in Orenburg, Young Leninists str., 20, Orenburg, 460047, Russia

² ООО "Газпром добыча Оренбург", Chkalova str., 1/2, Orenburg, 460058, Russia

³ Orenburg state university, Pobedy sq., 13, Orenburg, Russia

Abstract. This article presents an overview of promising catalysts, the selection of the most effective, calculated the economic effect of the introduction of a new catalyst. The selection of catalysts providing stability of operation and high rate of oxidation of hydrogen and methane flowing in the reactor P 2 of the helium fine purification unit of helium production from helium concentrate was made. To ensure the technological process in the production of chemical, gas processing and oil refining enterprises, catalysts of different modifications and types of both domestic and imported production are used. For stable operation and high oxidation rate of hydrogen and methane flowing in the reactor P-2 of the helium fine purification unit-22 of the Orenburg helium plant, the AP-56 aluminum-platinum catalyst is used. The catalyst AP-56 participating in oxidation processes in connection with the improvement of the technological process does not meet the standards established in the technological regulations, including an increase in hydrogen concentrations, and this in turn worsens the quality of gasoline fractions, in addition, the catalyst AP-56 is promoted by chlorine, which contributes to the development of corrosion on heat exchange equipment located after the reactor. The above circumstances forced manufacturers to reduce the production of aluminum-platinum catalyst AP-56. The most productive among the units of fine cleaning plant, which includes 3 similar compartments with a capacity of up to 400 Nm^3/h for raw materials, is considered. To confirm of the selected catalysts on existing equipment and for implementation, the technological calculations of the catalytic purification unit were made, and the main indicators of the process were determined.

Keywords: catalysts, reactor, oxidation, hydrogen, methane, condensation, pressure

Для цитирования

Курякова Т.А., Федоров Е.А., Межуева Л.В., Быков А.В. Подбор катализаторов, обеспечивающих стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана в реакторах Р 2 отделений тонкой очистки гелия Оренбургского гелиевого завода // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 316–321. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-316-321

For citation

Kuryakova T.A., Fedorov E.A., Mezheva L.V., Bykov A.V. The selection of catalysts that provide stability and high oxidation rate of hydrogen and methane in the reactors R 2 compartments of helium Orenburg helium plant. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 316–321. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-316-321

Введение

Для обеспечения технологического процесса в производстве продукции на предприятиях химической, газоперерабатывающей и нефтеперерабатывающей промышленности применяют катализаторы разной модификации и типов как отечественного, так и импортного производства. Для стабильной работы и высокой скорости окисления водорода и метана в реакторе Р-2 отделения тонкой очистки гелия из гелиевого концентрата установки-22 Оренбургского гелиевого завода применяют алюмоплатиновый катализатор АП-56 (64). Участвующий в процессах окисления катализатор АП-56(64) в связи с усовершенствованием технологического процесса не удовлетворяет нормам, установленным в технологическом регламенте: происходит увеличение концентраций водорода, а это, в свою очередь, ухудшает качество бензиновых фракций. Кроме того, катализатор АП-56 (64) промотирован хлором, способствующим развитию коррозии на теплообменном оборудовании, расположенном после реактора. Вышеперечисленные обстоятельства заставили производителей сократить выпуск алюмоплатинового катализатора АП-56 (64) [2, 7, 11, 15].

Поэтому подбор наиболее эффективного катализатора, в том числе обеспечивающего стабильность работы и высокую скорость окисления водорода и метана, одна из приоритетных задач предприятия.

Материалы и методы

Рассмотрим наиболее производительную среди блоков тонкой очистки установку,

которая имеет 3 аналогичных отделения производительностью до 400 $\text{нм}^3/\text{ч}$ по сырью каждое, включающих узлы:

- рекуперативных теплообменников;
- каталитической очистки гелия среднего давления от водорода;
- осушки гелия среднего давления;
- очистки от масла и осушки гелия высокого давления;
- конденсации азота из гелия высокого давления;
- адсорберов очистки гелия высокого давления от азота и микропримесей.

В состав установки входят вспомогательные отделения, необходимые для технологического процесса: отделение гелиевых сдувок, обогрева азота, компримирования гелиевого концентрата, азота холодильного цикла и отделения вакуум-насосов.

Процесс каталитической очистки гелиевого концентрата от водорода и метана осуществляется поэтапно. Гелиевый концентрат поступает от гелиевых блоков через Е-16 в смеситель, сюда же подается воздух от АКС через ресиверы в соотношении воздух:водород 2,5:1,0, затем смесь подогревается в Т-30 до температуры 150–190 °С и направляется в реактор Р-2, где на алюмоплатиновом катализаторе осуществляются основные реакции окисления. Прореагировавшая смесь фильтруется и направляется на охлаждение, последующую сепарацию и доочистку [5, 11–13]. Данная схема представлена на рисунке 1.

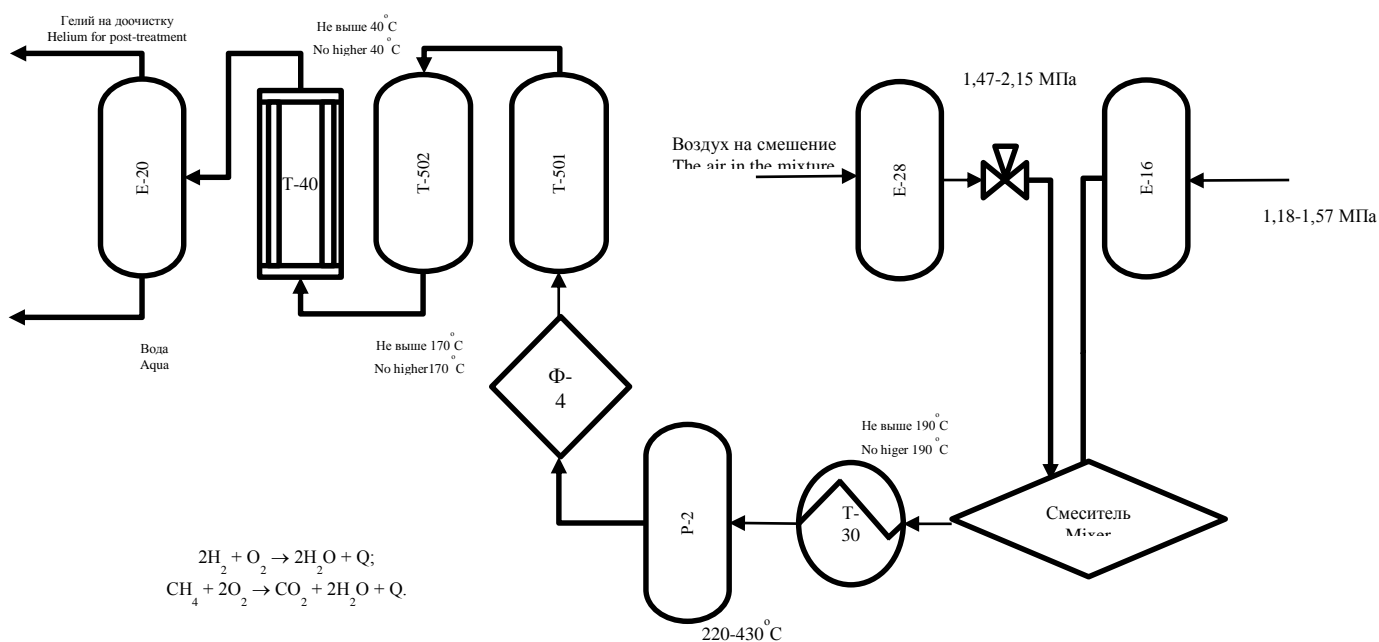


Рисунок 1. Схема очистки гелиевого концентрата от метана и водорода

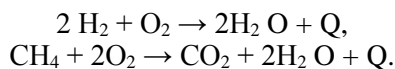
Figure 1. The scheme of purification of helium concentrate from methane and hydrogen

Для определения возможности каталитического окисления водорода и метана с использованием перспективных катализаторов на отделении тонкой очистки гелия гелиевого завода, исходя из оптимальной загрузки одного отделения 380 нм³/ч, произвели расчет материального баланса (таблица 1).

Таблица 1.
Материальный баланс
Table 1.
Material balance

Компонент Component	Приход Parish	Расход Expense
Смесь гелиевого концентрата и воздуха: Mixture of helium concentrate and air:	Количество, Di кг/ч Number, Di kg/h	Количество, кг/ч Number, kg/h
He	54,29	54,29
H ₂	1,36	0,00
CH ₄	2,71	0,00
N ₂ сырье	71,25	71,25
N ₂ воздух	70,80	70,80
O ₂	21,71	0,00
H ₂ O	0,00	18,32
CO ₂	0,00	7,46
Итого Total	222,12	222,12

В реакторе осуществляется непрерывный процесс каталитического окисления водорода и метана кислородом воздуха на алюмоплатиновом катализаторе при температуре 220 ÷ 413 °С по следующей схеме:



Продуктами окисления являются углекислый газ и вода, реакция идет с выделением

теплоты. За счет теплоты, выделяющейся при реакции в реакторе, температура гелиевого концентрата может повыситься в зависимости от содержания в нем водорода и составит на выходе из реактора 220 ÷ 430 °С.

Воздух, требуемый для окисления водорода и метана, подается с азотно-кислородной станции (АКС) II очереди завода.

Стехиометрическое соотношение водорода и кислорода 2:1 поддерживается путем автоматического дозирования воздуха к гелиевому концентрату.

Результаты и обсуждение

Поиск альтернативных катализаторов производился на основании литературного обзора. Рассматривались катализаторы платиновой и палладиевой группы, так как они имеют в разы большие скорости реакций по отношению к остальным и не содержат галогенов, не вызывают коррозии, поэтому оборудование прослужит дольше [1, 4, 8, 14, 16].

В результате анализа отечественных производителей были отобраны ведущие из них: ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР», ООО «НПП Нефтехим» и ЗАО «Редкинский катализаторный завод». Предлагаемые катализаторы не содержат галогенов и оборудование будет служить в разы дольше.

Поиск аналогов осложнялся тем, что процесс получения и очистки гелия на гелиевом заводе является единственным в России и непосредственно для него катализаторы не разрабатывались, поэтому подбор проводился по существующим продуктам различного назначения (таблица 2).

Таблица 2.
Характеристика катализаторов

Table 2.

Катализаторы Catalysts	Pt, Pd % масс mass	Краткое описание Brief description	Назначение Appointment
АП-56 применяемый AP-56 applicable	0,55 Pt	Алюмоплатиновый катализатор Al-catalyst	Применяется в процессе риформинга негидроочищенных бензиновых фракций It is used in the process of reforming non-hydrotreated gasoline fractions
Тип 1 Type 1	0,55 Pd	Палладиевый катализатор Palladium catalyst	Предназначены для селективного гидрирования ацетиленовых и диеновых компонентов в жидких и газообразных фракциях пиролиза нефтепродуктов в промышленных установках и успешно применяются для очистки других газовых выбросов Designed for selective hydrogenation of acetylene and diene components in liquid and gaseous pyrolysis fractions of petroleum products in industrial plants and successfully used for cleaning other gas emissions
Тип 2 Type 2	0,6 Pt	Алюмоплатиновый катализатор серии RC-12 Alumina catalyst series RC-12	Применяется для установок риформинга с движущимся слоем катализатора It is used for reforming units with a moving catalyst bed
Тип 3 AP 56 applicable	1,1 Pd	Палладиевый катализатор серии PK-201 Palladium catalyst PK 201 series	Предназначен для очистки технологических газов (водорода, аргона, азота) и инертных защитных атмосфер от кислорода, для кондиционирования технологических газов в металлургической и химической промышленности It is intended for purification of process gases (hydrogen, argon, nitrogen) and inert protective atmospheres from oxygen, for conditioning of process gases in metallurgical and chemical industries

Для подтверждения эффективности работы подобранных катализаторов на существующем оборудовании произвели технологический расчет

блока каталитической очистки. Определили основные показатели процесса: скорость реакций и объем катализатора (таблица 3).

Таблица 3.

Сводная таблица результатов

Table 3.

Summary table of results

Катализаторы Catalysts	Относительная эффективность Relative effectiveness	Скорость реакции окисления, г/м ³ с The rate of the oxidation reaction, g/m	Содержание Pt, Pd, % Content Pt, Pd, %	Необходимый объем катализатора, м ³ The required amount of catalyst, m ³
АП-64 Ap-64	1,0	3522	0,55 Pt	0,030
Тип 1 Type 1	1,3	4577	0,55 Pd	0,027
Тип 2 Type 2	1,1	3873	0,6 Pt	0,028
Тип 3 Type 3	1,7	5986	1,1 Pd	0,025

Исходя из расчетных данных 3 три типа катализаторов могут конкурировать друг с другом, так как скорость реакции выше применяемого в настоящее время. Объем катализатора АП-64, необходимый для очистки гелиевого концентрата от примесей водорода – 4% об. и метана-1% об., составляет 0,030 м³. Данный объем подтвержден фактически загруженным объемом в действующие реакторы Р-2 – 0,03 м³ (19 кг) и, следовательно, объем предлагаемых катализаторов также удовлетворяет требуемым параметрам загрузки.

Кроме физико-химических характеристик, важнейшим показателем для применения катализаторов в промышленном масштабе является его стоимость. Стоимость 1-го типа ниже всех предлагаемых, при этом относительная эффективность существенно выше как 2-го типа, так и применяемого в данный момент. Эффективность и стоимость 2-го типа приблизительно одинакова.

Тип 3 значительно выше и по эффективности, и по стоимости, он в разы дороже [3, 9, 10].

Поэтому целесообразно произвести расчет экономической эффективности от применения 1-го типа катализатора. Годовое потребление материальных и энергетических ресурсов, фонд заработной платы персонала, социальные взносы, остальные виды постоянных затрат, отнесенные к процессу тонкой очистки гелия, остаются на прежнем уровне. Исключение составляют затраты на приобретение катализатора и его замену.

В расчете не учитывались дополнительные преимущества, которые можно получить за счет увеличения ресурса оборудования (таблица 4).

Экономия затрат в виде чистой прибыли определяется путем сравнения текущих затрат на производство, предусмотренных новым проектом, и затрат действующего технологического процесса тонкой очистки гелия на установке, на сопоставимый объем очищенного гелия (таблица 5).

Таблица 4.

Расчет снижения затрат при применении катализатора первого типа

Table 4.

Calculation of cost reduction in the application of first type catalyst

Наименование статей затрат Name of cost items	Сумма затрат, тыс. р./год Amount of expenses, thousand roubles/year		
	По действующему процессу на сопоставимый объем According to the current process for a comparable amount	По новому процессу According to the new process	Отклонение предлагаемого решения от действующего Deviation of the proposed solution from the current one
Среднегодовые затраты на катализатор Average annual catalyst costs	317900	148588	169312
Среднегодовые затраты на замену катализатора Average annual cost of catalyst replacement	11 500	6 900	4 600
Итого Total	329400	155488	173912

Таблица 5.

Показатели экономической эффективности проекта тонкой очистки гелия, тыс. р.

Table 5.

Indicators of economic efficiency of the project of fine cleaning of helium, thousand rubles

Показатели Indicators	Значение Value
Капитальные вложения Capital investment	–
Затраты на катализатор по действующему процессу The cost of the catalyst according to the current process	329400
Затраты на катализатор по усовершенствованному процессу The cost of the catalyst improved	155488
Прибыль Profit	173912
Налог на прибыль Profit tax	34782
Чистая прибыль Net profit	139130

Заключение

Как упоминалось выше, рассматривались 3 типа катализаторов. Расчет экономической эффективности подтвердил целесообразность замены. Чистая прибыль от использования катализатора серии АПК-НШГС производства ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» составила более 139 тыс. р. Для подтверждения его работоспособности на существующем оборудовании необходимо провести опытно-промышленные испытания на пилотной установке либо без неё.

Характеристики 1-го и 2-го типа наиболее близки к существующему алюмоплатиновому катализатору АП-64. Причем стоимость 1-го типа существенно ниже, поэтому он в первую очередь рекомендуется к опытно-промышленным испытаниям и дальнейшему применению на существующем оборудовании. Катализатор

3-го типа обладает наилучшими характеристиками, но его цена в два раза выше рассматриваемых аналогов, поэтому его применение целесообразно в случае повышенного содержания примесей в гелиевом концентрате.

Технологический расчет производился на основе проектной загрузки установки по сырью газом Оренбургского месторождения (ОНГКМ) – 380 нм³/ч. Сегодня сырьё ОНГКМ составляет около 70% от всего объема перерабатываемого газа на гелиевом заводе и будет продолжать снижаться, соответственно будет падать загрузка реакторов отделений тонкой очистки. Учитывая снижение загрузки реакторов по сырью, необходимо увеличить сроки полезного использования катализатора до 5 лет и выполнить расчет экономической эффективности использования катализатора 1-го типа.

ЛИТЕРАТУРА

1 Гришина М.А., Мардашев Ю.С., Горячева В.Н. Каталитические системы на основе металлических катализаторов в реакции окисления метана // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. №. 6 (18). doi: 10.18698/2308-6033-2013-6-794

2 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов: изд. 3-е. В 2-х кн. М.: Химия, 2002.

3 Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справ. изд. в 2-х ч.; под ред. Калверта С., Инглунда Г. М.: Металлургия, 1988. 758 с.

4 Калашникова М.Ю., Беккер В.Я., Макаров А.М. Фазовый состав и скорость осаждения гидроксидов алюминия в зависимости от условий получения вторичного носителя при изготовлении блочных катализаторов // ЖПХ. 1996. Т. 69. № 12. С. 1997–2000.

5 Копша Д.П., Гоголева И.В., Изюмченко В.Д. Возможные пути оптимизации процесса тонкой очистки гелиевого концентрата // Научно-технический сборник вести газовой науки. 2015. № 1 (21). С. 39–44.

6 Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование работы промышленных катализаторов процессов риформинга и изомеризации углеводородов бензиновой фракции: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2010. 129 с.

7 Кузьмина Р.И. Каталитический риформинг углеводородов. Саратов: СЮИ МВД России, 2010. 252 с.

8 Лихницкий К.В., Яскула М. Перспективные катализаторы окисления водорода для топливных элементов // Proceedings of IX International Conference «Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides». 2005. С. 988–989.

9 Пантелеев Д.В., Столыпин Е.В., Волченко А.Г. Развитие промышленного производства гелия в ООО «Газпром добыча Оренбург» // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. С. 128–135.

10 Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду (постановление Правительства РФ № 255 от 3 марта 2017 года).

11 Слейш А., Чоудри У., Вагнер Ф. и др. Катализ в промышленности: пер. с англ.; под ред В.М. Грязнова. М.: Мир, 1986. 291 с.

12 Сычева А.М., Генкин В.С., Мельников С.И., Дюрик Н.М. Реактор для проведения каталитических процессов // Открытия. Изобретения. 1983. № 46. С. 18–19.

13 Романовский Б.В. Основы химической кинетики. Москва: Экзамен, 2006. 415 с.

14 Стронберг А.Г. Физическая химия. Москва: Высшая школа, 2003. 527 с.

15 Тимонова О.А., Мардашев Ю.С. Катализаторы полного окисления природного газа как основа экологически щадящей энергетики // МПГУ, VII Международная конференция. Москва – Ереван, 2008. С. 274–275.

16 Филимонова И.В. Структурообразование и свойства высокопористого блочного катализатора окисления молекулярного водорода. Пермь, 1998. 165 с.

17 Широкопояс С.И. Гидродеароматизация углеводородного сырья с использованием биметаллических платино-палладиевых катализаторов на основе мезопористых алюмосиликатов. Москва, 2014. 121 с.

REFERENCES

1. Grishina M.A., Mardashev Y.S., Goryacheva V.N. Catalytic systems based on metal catalysts in the oxidation of methane. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovacii* [Engineering journal: science and innovation]. 2013. vol. 6. doi: 10.18698/2308-6033-2013-6-794 (in Russian).

2 Dynarski Y.I. Processy i apparaty himicheskoy tekhnologii [Processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, Chemistry, 2002. (in Russian).

3 Zashchita atmosfery ot promyshlennyyh zagryaznenij [The protection of the atmosphere from industrial air pollution; edited by S. Calvert, G. Englund]. Moscow, Metallurgy, 1988. 58 p. (in Russian).

4. Kalashnikov M.Yu., Becker V.J., Makarov A.M. Phase composition and deposition rate of aluminum hydroxides depending on the conditions for obtaining secondary carrier in the manufacture of block catalysts. *ZhPH [JPH]*. 1996. vol. 69. no. 12. pp. 1997-2000. (in Russian).

5 Kopsha D.P., Gogoleva I.V., Izyumchenko V.D. Possible ways of optimizing the process of fine purification of helium concentrate. *Nauchno-tekhnicheskij sbornik vesti gazovoy nauki* [Scientific and technical collection is to conduct gas science]. 2015. no. 1 (21). pp. 39-44. (in Russian).

6 Kravtsov A.V., Ivanchina E.D. Komp'yuternoe prognozirovaniye raboty promyshlennyyh katalizatorov processov riforminga i izomerizacii uglevodorodov benzinovoy frakcii [Computer prediction of the operation of industrial catalysts for the processes of reforming and isomerization of hydrocarbons in the gasoline fraction]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2010. 129 p. (in Russian).

7 Kuzmina R.I. Kataliticheskij riforming uglevodorodov [Catalytic reforming of hydrocarbons]. Saratov, MVD of Russia, 2010. 252 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна А. Курыкова к.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина филиал в г. Оренбурге, 460047, г. Оренбург, ул. Юных Ленинцев д. 20, tany_kur1975@mail.ru

Евгений А. Федоров заместитель начальника технического отдела, гелиевый завод ООО "Газпром добыча Оренбург", 460058 г. Оренбург, ул. Чкалова 1/2, tany_kur1975@mail.ru

Лариса В. Межуева д.т.н., профессор, кафедра пищевой биотехнологии, Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия, larisam57@mail.ru

Артем В. Быков к.т.н., доцент кафедры пищевой биотехнологии, Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия, artem19782@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна А. Курыкова провела эксперимент, выполнила расчеты

Евгений А. Федоров обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Лариса В. Межуева консультация в ходе исследования

Артем В. Быков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

8 Lichnicki K.V., Jaskula M. Promising catalysts for the oxidation of hydrogen for fuel cells. *Proceedings of IX International Conference "Hydrogen Material Science and Chemistry of Metal Hydrides"*. 2005. pp. 988-989. (in Russian).

9 Panteleev D.V., Stolyin E.V., Volchenko A.G. The development of industrial production of helium in ООО "Gazprom dobycha Orenburg". *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2011. no. 2. pp. 128-135. (in Russian).

10 Ob ischislenii i vzimanii platy za negativnoe vozdejstvie na okruzhayushchuyu sredu [On the calculation and collection of fees for a negative impact on the environment (Decree of the Government of the Russian Federation No. 255 of March 3, 2017)]. (in Russian).

11. Slash A., Chaudhry U., Wagner F. et al. Kataliz v promyshlennosti [Catalysis in industry; edited by V.M. Gryaznov]. Moscow, Mir, 1986. 291 p. (in Russian).

12 Sycheva A.M., Genkin V.S., Mel'nikov S.I., Durik N.M. Reactor for carrying out catalytic processes. *Otkrytiya. Izobreteniya* [Open. Inventions]. 1983. no. 46. pp. 18-19. (in Russian).

13 Romanovskii B.V. Osnovy himicheskoy kinetiki [Fundamentals of chemical kinetics]. Moscow, Exam, 2006. 415 p. (in Russian).

14 Stronberg A.G. Fizicheskaya himiya [Physical chemistry]. Moscow, Higher school, 2003. 527 p. (in Russian).

15 Timonova O.A., Mardashev Yu.S. Catalysts for complete oxidation of natural gas as the basis of environmentally friendly energy. MPG, VII Mezhdunarodnaya konferenciya [Moscow pedagogical state University, VII International conference]. Moscow – Yerevan, 2008. pp. 274–275. (in Russian).

16 Filimonova I.V. Strukturnoobrazovanie i svoystva vysokoporistogo blochnogo katalizatora okisleniya molekulyarnogo vodoroda [Structure formation and properties of highly porous block catalyst of molecular hydrogen oxidation]. Perm, 1998. 165 p. (in Russian).

17 Shirokopoyas S.I. Gidrodearomatizaciya uglevodorodnogo syr'ya s ispol'zovaniem bimetallicheskih platino-palladiyevykh katalizatorov na osnove mezoporistykh alyumosilikatov [Hydrodearomatization hydrocarbons using bimetallic platinum-palladium catalysts based on mesoporous aluminosilicates]. Moscow, 2014. 121 p. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tatyana A. Kuryakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, RSU of oil and gas (NSU) branch in Orenburg, st. Young Leninists, 20, 460047, Orenburg, Russia, tany_kur1975@mail.ru

Evgeniy A. Fedorov deputy head of technical department, helium plant ООО "Газпром добыча Оренбург", 460058 Orenburg, Chkalova str., 1/2, tany_kur1975@mail.ru

Larisa V. Meghueva Dr. Sci. (Engin.), professor, department of food biotechnology, Orenburg state university, prospekt Pobedy, 13, Orenburg, 460018, Russia, larisam57@mail.ru

Artem V. Bykov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of food biotechnology, Orenburg state university, prospekt Pobedy, 13, Orenburg, 460018, Russia, artem19782@yandex.ru

CONTRIBUTION

Tatyana A. Kuryakova conducted an experiment, performed computations

Evgeniy A. Fedorov review of the literature on an investigated problem

Larisa V. Meghueva consultation during the study

Artem V. Bykov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.16.2018