

УДК 661.7

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ  
МЕДНО-АММИАЧНОГО РАСТВОРА**

**INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC REGIME ON RECOVERY  
OF COPPER-AMMONIA SOLUTION COMPONENTS**

**Ф.Б. Шевляков, И.Ш. Насыров, Т.Г. Умергалин**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,**

**г. Уфа, Российская Федерация**

**ООО «Управляющая Компания «ТАУ НефтеХим»,**

**г. Стерлитамак, Российская Федерация**

**Fedor B. Shevlyakov, Ildus Sh. Nasyrov, Talgat G. Umergalin**

**Ufa State Petroleum Technological University,**

**Ufa, Russian Federation**

**Management Company «TAU Neftekhim» LLC,**

**Sterlitamak, Russian Federation**

**e-mail: [sfb1980@mail.ru](mailto:sfb1980@mail.ru)**

**Аннотация.** Одним из промышленных способов выделения бутадиена из пиролизных фракций  $C_4$  является метод хемосорбции с использованием поглотительного водно-аммиачного раствора ацетата одновалентной меди в колоннах хемосорбции. Данный способ в настоящее время реализован на ОАО «Стерлитамакский нефтехимический завод». Разделение фракции  $C_4$  с применением медно-аммиачного раствора требует подачи сырьевого потока высокой чистоты по ацетиленовым и тяжелым углеводородам, в связи с чем стадии хемосорбции предшествуют очистки бутилен-бутадиеновой фракции ректификацией от тяжелых и легких углеводородов, влаги и

метанола, гидрирование от ацетиленовых углеводородов. Селективность разделения бутадиена-1,3 и бутиленовой фракции определяется рабочими свойствами медно-аммиачного раствора, которые определяются компонентным составом – соединениями закисной меди, окисной меди, аммиаком, уксусной кислотой и нормируемыми значениями каждого из них. Поскольку процесс разделения бутилен-бутадиеновой фракции является непрерывным, поддержание качественных характеристик медно-аммиачного раствора обеспечивается периодическим выводом части циркулирующего раствора из системы хемосорбции и вводом восстановленной порции для приведения компонентов до нормируемых значений. Приготовление восстановленной порции медно-аммиачного раствора происходит путем растворения медных пластин в смеси аммиака и уксусной кислоты и смешением с выведенной частью раствора. Время, необходимое для восстановления выведенной части медно-аммиачного раствора, достигает 5 сут, в течение которых процесс хемосорбции проводится с повышенной циркуляцией медно-аммиачного раствора, и, как следствие, увеличиваются энергозатраты на его охлаждение. В работе установлено, что лимитирующей стадией восстановления медно-аммиачного раствора медью является смешение раствора с аммиаком, поскольку их плотности различаются в 1,5 раза. Смешение медно-аммиачного раствора и аммиака в системе «емкость – насос – емкость» не позволило получать раствор однородного состава, в связи с чем сделано предположение о необходимости вовлечения в процесс смешения перемешивающего аппарата турбулентного типа. Моделирование смешения раствора с аммиаком в системе «емкость – насос – смеситель – емкость» позволило за однократное пропускание компонентов получить раствор медно-аммиачного раствора однородного состава. Таким образом, организация турбулентного режима смешения потоков позволяет интенсифицировать процесс подготовки медно-аммиачного раствора, уменьшить время восстановления до 1 сут.

**Abstract.** One of the industrial methods for separating butadiene from pyrolysis fractions of  $C_4$  is the chemisorption method using an absorbing water-ammonia solution of monovalent copper acetate in chemisorption columns. This method is currently implemented at JSC «Sterlitamak Petrochemical Plant». Separation of the  $C_4$  fraction using a copper-ammonia solution requires the supply of a high-purity feed stream for acetylene and heavy hydrocarbons. Therefore, the chemisorption stages are preceded by purification of the butylene-butadiene fraction by rectification from heavy and light hydrocarbons, moisture and methanol, and hydrogenation from acetylene hydrocarbons also. The selectivity of the separation of butadiene-1,3 and butylene fractions is determined by the working properties of the copper-ammonia solution, which are determined by the component composition – compounds of copper oxides ( $Cu_2O$  and  $CuO$ ), ammonia, acetic acid and the normalized values of each of them. Since the process of separation of the butylene-butadiene fraction is continuous, the quality characteristics of the copper-ammonia solution (the CAS) are maintained by periodically removing part of the circulating solution from the chemisorption system and entering the reduced portion to bring the components to the normalized values. Preparation of the reduced portion of the CAS is performed by dissolving the copper plates in a mixture of ammonia and acetic acid and mixing with the removed part of the solution. The time required to restore the removed part of the CAS reaches 5 days, during which the chemisorption process is carried out with increased circulation of the copper-ammonia solution, and, as a result, the energy consumption for its cooling increases. It was found that the limiting stage of reduction of the CAS by copper is mixing the solution with ammonia, since their densities differ by a factor of 1,5. Mixing of the CAS and ammonia in the «tank – pump – tank» system did not allow obtaining a solution of a homogeneous composition, and therefore it was assumed that a turbulent mixing device should be involved in the mixing process. Modeling the mixing of the solution with ammonia in the «tank – pump – mixer – tank» system allowed to obtain a solution of copper-ammonia solution of a homogeneous composition

for a single pass of the components. Thus, the organization of a turbulent flow mixing mode allows to intensify the process of the CAS preparation and reduce the recovery time to 1 day.

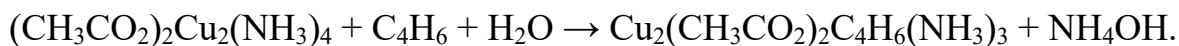
**Ключевые слова:** бутадиен-1,3; медно-аммиачный раствор; хемосорбция; аммиак; закисная медь; гидродинамический режим; турбуляция

**Key words:** butadiene-1,3; copper-ammonia solution; chemisorption; ammonia; copper oxide; hydrodynamic regime; turbulation

## Введение

Разделение пиролизной бутилен-бутадиеновой фракции (ББФ) в промышленности осуществляют в колоннах экстрактивной ректификацией с N,N-диметилформамидом или хемосорбцией поглотительного водно-аммиачного раствора ацетата одновалентной меди (МАР) [1]. Продуктами разделения являются бутадиен-1,3, используемый для производства синтетических каучуков и термоэластопластов и бутиленовая фракция, используемая для синтеза МТБЭ и олигомеров бутилена [2]. На ОАО «Стерлитамакский нефтехимический завод» реализован второй способ разделения ББФ, где на извлечение бутадиена-1,3 возможно вовлечение рециклового углеводородного потоков после полимеризации бутадиена-1,3 и других альтернативных бутадиенсодержащих фракций. Использование МАР требует подачи сырья, очищенного от примесей, способных повлиять на технологические свойства МАР или образовать с ним взрывоопасные соединения. С этой целью хемосорбции предшествуют стадии: очистка ББФ ректификацией от тяжелых- $C_{5+}$  и легких углеводородов  $C_{3-}$ , влаги и метанола; очистка ББФ от ацетиленовых углеводородов (АУ) гидрированием на селективном катализаторе [3, 4].

Выделение бутадиена из ББФ с использованием МАР основано на образовании при низких температурах комплексных соединений между солями закисной меди и ненасыщенными углеводородами:



Селективность процесса определяется компонентным составом – соединениями закисной меди, окисной меди, аммиаком, уксусной кислотой и нормируемыми значениями каждого из них. Приготовление МАР происходит путем растворения медных пластин в растворе аммиака и уксусной кислоты и включает в себя следующие стадии: последовательная загрузка в реактор пластин меди, растворов аммиака и уксусной кислоты; окисления меди кислородом воздуха; взаимодействие оксида меди с металлической медью с образованием закисной меди; образование комплексного соединения путем растворения закисной меди в присутствии избытка аммиака. Компонентный состав МАР [5] представлен в таблице 1.

**Таблица 1.** Компонентный состав МАР

Компонент	Нормируемые значения концентрации, г-моль/дм <sup>3</sup>
Медь закисная	2,75–3,50
Медь окисная	0,18–0,40
Уксусная кислота	4,0–4,8
Аммиак	9,2–12,8

В условиях производства возможны нарушения равновесных концентраций между соединениями меди раствора МАР по реакции  $2\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Cu}^0 \downarrow$ , что является одной из причин потери меди. Это приводит к снижению рабочих свойств МАР, а выпавшая на поверхности оборудования медь при контакте с железом образует микрогальванопару и приводит к коррозии оборудования. Изменение показателей МАР от нормируемых значений (таблица 1) может произойти при:

- выводе МАР на адсорбционную очистку (регенерацию) в фильтрах, загруженных активным углем АГ-3, способных задерживать в порах соединения окисной и закисной меди, уксусную кислоту, аммиак;
- переходе ионов меди в металлическую форму на внутренних элементах оборудования;
- переходе ионов окисной и закисной меди в оксиды при попадании воздуха через торцевые уплотнители насосов;
- проведении процессов хемосорбции – десорбции в широком температурном диапазоне: охлаждение циркулирующего МАР перед хемосорбцией до минус 14 °С, преддесорбции при 15–40 °С и десорбции насыщенного МАР при 96 °С.

Непрерывный режим ведения процесса разделения ББФ хемосорбцией в течение нескольких лет требует поддержания качественных характеристик хемосорбента путем периодического восстановления компонентов МАР. Технологией предусмотрен способ укрепления МАР медью, аммиаком, уксусной кислотой, что обеспечивается периодическим выводом части циркулирующего раствора из системы хемосорбции для восстановления компонентов до нормируемых значений.

В соответствии с действующей схемой укрепления МАР время, затрачиваемое для восстановления выведенной части МАР до нормируемых значений, составляет 72–120 ч. Из-за низкого содержания закисной меди в циркулирующем МАР образование комплексных соединений между солями закисной меди и бутадиеном-1,3 протекает с пониженной активностью, в связи с чем процесс хемосорбции необходимо проводить с повышенной циркуляцией МАР. После десорбции насыщенного МАР раствор поступает на охлаждение, что, в свою очередь, приводит к увеличению энергозатрат на потребление электроэнергии на выработку холода. Требование снижения технико-экономических показателей процесса в этот период определило необходимость проведения исследований.

## Цели и задачи

Цель работы состояла в исследовании процесса насыщения МАР медью и разработке технического решения, позволяющее сократить времени восстановления МАР за счет интенсификации смешения его с аммиаком.

## Методы исследования

Определение двухвалентной меди основано на взаимодействии солей двухвалентной меди с раствором йодистого калия. В колбу для титрования наливают 50 см<sup>3</sup> раствора соляной кислоты молярной концентрации  $c(\text{HCl}) = 1$  моль/дм<sup>3</sup> (1 Н) и 10 см<sup>3</sup> йодистого калия, перемешивают, вносят 1 см<sup>3</sup> анализируемого раствора из пробоотборника и промывают последний дистиллированной водой, сливая её в колбу для титрования, окраска раствора от выделившегося йода становится коричневой. Выделившийся йод титруют раствором серноватистокислого натрия молярной концентрации  $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1$  моль/дм (0,1 Н) до появления соломенно-жёлтого цвета, затем добавляют 1–2 см<sup>3</sup> раствора крахмала и титруют до полного обесцвечивания раствора.

Для определения суммарной меди к раствору после титрования двухромовокислым калием добавляют 30 см<sup>3</sup> раствора йодистого калия и выделившийся йод титруют раствором серноватистокислого натрия до слабо-жёлтой окраски. Затем добавляют 1–2 см<sup>3</sup> раствора крахмала и титруют до появления сероватой окраски.

## Результаты

Существуют способы поддержания стабильности МАР тем, что готовится раствор с содержанием одновалентной меди не менее 2 г-моль/дм<sup>3</sup>, аммиака 10,5–12,38 г-моль/дм<sup>3</sup> и рН выше 9,0. Для обеспечения стабильности МАР без выпадения меди в качестве параметра оценки рабочих свойств МАР предложено использовать показатель

окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) [6] путем поддержания рН раствора равном 9,0–12,5 введением аммиака, в количестве, обеспечивающем значение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) раствора равным 400–550 мВ. Предложенные способы стабилизации МАР не применимы для случаев значительного отклонения нормируемых значений концентраций компонентов МАР.

Проведенные ранее промышленные испытания по стабилизации МАР аммиаком в количестве 10 м<sup>3</sup> в систему циркулирующего МАР объемом 600 м<sup>3</sup> за 0,5 ч показали резкие изменения концентрации аммиака при движении в системе хемосорбции в течение двух месяцев, что связано с неравномерным вводом его в систему. По полученным результатам было установлено, что при стабилизации поглотительного водно-аммиачного раствора на действующем производстве необходимо учитывать инерционность системы [6], вследствие чего аммиак следует вводить дозированно для равномерного распределения по системе. Таким образом, при восстановлении меди в МАР необходимо предусмотреть предварительное смешение МАР и аммиака с учетом гидродинамического режима смешиваемых потоков [7, 8].

Восстановление свойств МАР проводят на технологическом узле, состоящем из емкости, содержащей пластины меди и выступающей в качестве буферной емкости диффузионного смешения МАР и аммиака. Лимитирующим процессом восстановления МАР соединениями меди и аммиаком является его смешение с раствором аммиака, поскольку их плотности различаются почти в 1,5 раза: плотность МАР – 1,3 г/см<sup>3</sup>, 22 % водного раствора аммиака – 0,9 г/см<sup>3</sup>.

Моделирование смешения МАР и аммиака проведено в серии из трех опытов. На первом этапе оценена способность МАР и водного раствора аммиака образовывать однородный раствор.

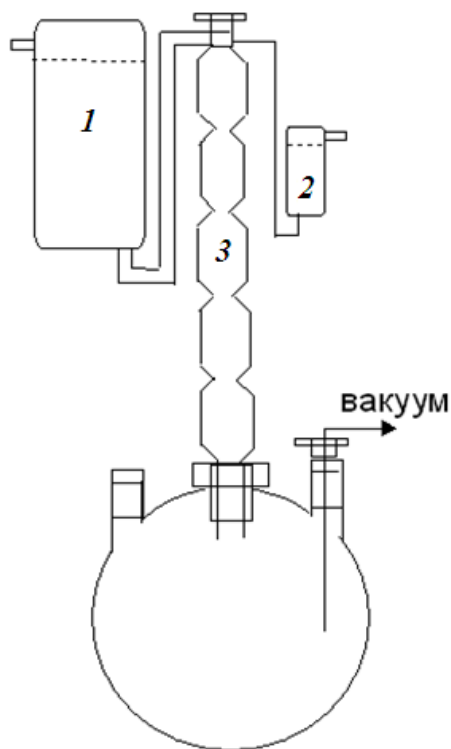
В первую пробирку наливали МАР 80 мл и медленно приливали раствор аммиака объемом 20 мл без перемешивания.



Во вторую пробирку наливали МАР 80 мл и медленно приливали раствор аммиака объемом 20 мл и смесь переливали через перистальтический насос в другую колбу.

В третьей пробирке образовывалась смесь, полученная смешением 80 мл МАР и раствора аммиака объемом 20 мл предварительно пропущенная через трубчатый турбулентный аппарат (рисунок 1).

С течением времени в интервале от 0,5 до 30 мин проводили фотофиксацию полученного раствора. Через 30 мин проводили анализ нижнего слоя раствора на содержание окисной, закисной меди и аммиака.



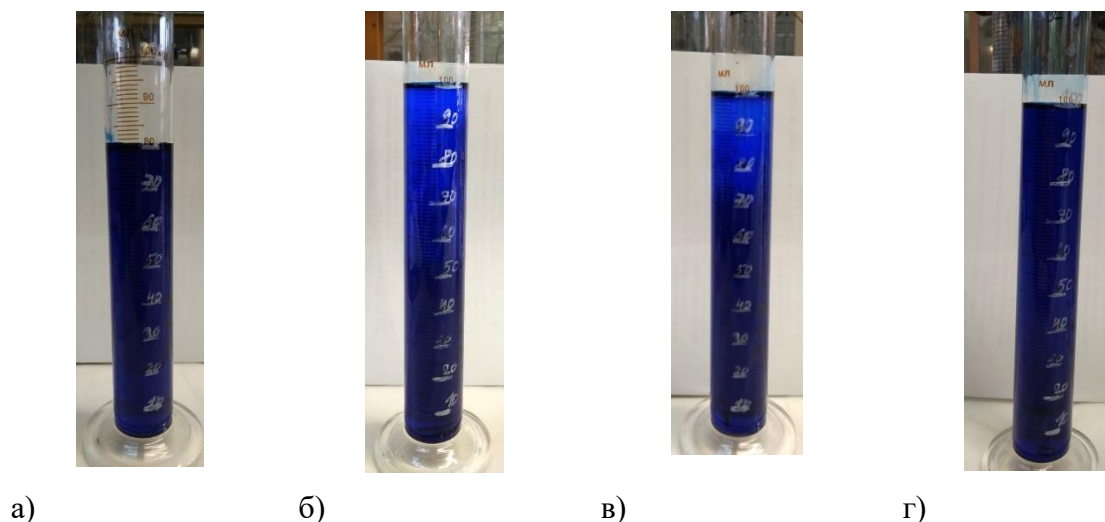
- 1 – емкость с раствором МАР;
- 2 – емкость с аммиаком;
- 3 – трубчатый турбулентный аппарат

**Рисунок 1.** Установка смешения раствора МАР и аммиака

Как видно из представленных фотоснимков (рисунок 2), вливание аммиака без перемешивания и после однократного пропускания через насос не обеспечивает полного смешения компонентов.

Полученные результаты анализа (таблица 2) для нижнего слоя МАР свидетельствуют о неравномерном распределении аммиака и соединений

меди в опытах № 1 и № 2. Значения третьей смеси указывают на снижение содержания закисной меди, что в условиях присутствия металлических пластин меди и избыточного количества аммиака должно способствовать смещению равновесия в сторону обогащения закисной меди  $Cu^{2+} + Cu^0 \rightarrow 2Cu^+$  и увеличению общего содержанию растворенной меди  $\Sigma Cu_{общ} = [Cu^{2+} + Cu^+]$ .



- а) исходный МАР – однородный раствор;
- б) опыт № 1 – неоднородная система;
- в) опыт № 2 – неоднородная система;
- г) опыт № 3 – однородный раствор

**Рисунок 2.** Степень перемешивания МАР и аммиака

**Таблица 2.** Компонентный состав МАР после смешения с аммиаком

Опыт	Аммиак	$Cu^+$	$Cu^{2+}$	$Cu_{общ}$
	г-моль/дм <sup>3</sup>			
Исходный МАР	9,83	2,71	0,21	2,92
№1	9,58	2,46	0,22	2,68
№2	9,68	2,47	0,23	2,70
№3	9,80	2,12	0,20	2,32

С целью моделирования обогащения МАР медью на втором этапе раствор смешивали с раствором аммиака по аналогии с опытами №№ 1–3 в колбах, содержащих медные пластинки, и выдерживали 24 ч с периодическим отбором проб на анализ содержания меди (таблица 3).

**Таблица 3.** Компонентный состав МАР при восстановлении меди

Опыт	Время реакции	Cu <sup>+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Cu <sup>общ.</sup>
	ч	г-моль/дм <sup>3</sup>		
Исходный МАР	–	2,71	0,21	2,92
№ 1	0,5	2,46	0,22	2,68
	5,0	2,36	0,28	2,64
	24,9	1,48	0,79	2,27
№ 2	0,5	2,47	0,23	2,70
	5,0	2,37	0,19	2,56
	24,0	1,92	0,47	2,39
№ 3	0,5	2,12	0,20	2,32
	5,0	2,24	0,30	2,54
	24,0	2,51	0,22	2,73

За 5 ч процесса восстановления МАР реакция растворения меди начинается в колбе с равномерным распределением аммиака (опыт № 3). В этом случае общее содержание меди увеличилось на 10 %. Через сутки в опытах №1 и №2 равновесие между ионами меди смещалось в сторону образования окисной меди  $2\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Cu}^0$ . В то же время в опыте № 3 значительно увеличилось содержание закисной и общей меди.

Моделирование процесса восстановления меди проведено без учета температурного режима процесса и подачи воздушно-аммиачной смеси, однако полученные закономерности свидетельствуют о целесообразности предварительного смешения МАР и аммиака в трубчатом турбулентном аппарате и позволяют гарантировать восстановление МАР с нормируемыми значениями по содержанию меди.

## Выводы

В результате проведенных исследований установлено влияние гидродинамического режима на процесс предварительного смешения медно-аммиачного раствора с аммиаком при его восстановлении медью. Организация турбулентного режима смешения потоков позволяет получать однородный раствор хемосорбента, уменьшить время восстановления МАР до 1 сут. В качестве смешивающего устройства рекомендуется использование трубчатого турбулентного аппарата.

## Список используемых источников

1. Платэ Н.А. Основы химии и технологии мономеров. М.: Наука: Наука/Интерпериодика, 2002. 696 с.
2. Богачева Т.М., Юнусова Л.М., Голованова К.В., Лиакумович А.Г., Ахмедьянова Р.А. Новые конкурентоспособные технологии получения мономеров // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 126-128.
3. Тарарыкин А.Г., Невьянцева Л.Н., Баженов Ю.П., Галиева Ф.А., Касьянова Л.З. Разработка и внедрение в производство катализаторов серии РК220 для селективного гидрирования примесей ацетиленовых углеводородов при очистке бутилен-бутадиеновой фракции в процессе получения бутадиена-1,3 // Катализ в промышленности. 2009. № 5. С. 51-56.
4. Насыров И.Ш., Шурупов О.К., Захаров В.П., Шевляков Ф.Б., Бакытов Н.Б. Повышение эффективности селективного гидрирования ацетиленовых углеводородов в бутилен-бутадиеновой фракции при производстве бутадиена-1,3 // Нефтехимия. 2018. Т. 58. № 5. С. 618-622. DOI: 10.1134/S0028242118050131.

5. Шевляков Ф.Б., Умергалин Т.Г., Шурупов О.К., Захаров В.П., Насыров И.Ш. Совершенствование технологической схемы выделения бутан-бутиленовой фракции методом хемосорбции с использованием трубчатого турбулентного аппарата // Теоретические основы химической технологии. 2019. Т. 53. № 5. С. 517-522. DOI: 10.1134/S0040357119050117.

6. Насыров И.Ш., Шурупов О.К., Шелудченко В.А., Шевляков Ф.Б., Захаров В.П. Исследование влияния окислительно-восстановительного потенциала раствора медноаммиачного на его стабильность в процессе выделения бутадиена из фракции C4 пиролиза углеводородов методом хемосорбции // Химическая промышленность сегодня. 2017. № 6. С. 16-20.

7. Умергалин Т.Г., Гареева И.Ю. Процессы и оборудование газопереработки и газохимии. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. 102 с.

8. Шевляков Ф.Б., Умергалин Т.Г., Захаров В.П. Использование трубчатого турбулентного аппарата в нефтегазовых и химических процессах. Уфа: РИЦ БашГУ, 2018. 204 с.

## References

1. Plate N.A. *Osnovy khimii i tekhnologii monomerov* [Fundamentals of Chemistry and Monomer Technology]. Moscow, Nauka: Nauka/Interperiodika Publ., 2002. 696 p. [in Russian].

2. Bogacheva T.M., Yunusova L.M., Golovanova K.V., Liakumovich A.G., Akhmed'yanova R.A. *Novye konkurentosposobnye tekhnologii polucheniya monomerov* [New Competitive Technologies for Producing Monomers]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2012, Vol. 15, No. 20, pp. 126-128. [in Russian].

3. Tararykin A.G., Nev'yantseva L.N., Bazhenov Yu.P., Galieva F.A., Kas'yanova L.Z. *Razrabotka i vnedrenie v proizvodstvo katalizatorov serii RK220 dlya selektivnogo gidrirovaniya primesei atsetilenovykh uglevodorodov pri ochistke butilen-butadienovoi fraktsii v protsesse polucheniya butadiena-1,3* [The Development and Introduction for a Series of RC220 Catalysts for Selective

Hydrogenation of Hydrocarbons Acetylene Impurities to Clean Butylenebutadiene Fraction in the Butadiene-1,3 Processing]. *Kataliz v promyshlennosti – Catalysis in Industry*, 2009, No. 5, pp. 51-56. [in Russian].

4. Nasyrov I.Sh., Shurupov O.K., Zakharov V.P., Shevlyakov F.B., Bakytov N.B. Povyshenie effektivnosti selektivnogo gidrirovaniya atsetilenovykh uglevodorodov v butilen-butadienovoi fraktsii pri proizvodstve butadiena-1,3 [Increasing the Efficiency of Selective Hydrogenation of Acetylenic Hydrocarbons in Butylene-Butadiene Fraction in the Production of Butadiene-1,3]. *Neftekhimiya – Petroleum Chemistry*, 2018, Vol. 58, No. 5, pp. 618-622. DOI: 10.1134/S0028242118050131. [in Russian].

5. Shevlyakov F.B., Umergalin T.G., Shurupov O.K., Zakharov V.P., Nasyrov I.Sh. Sovershenstvovanie tekhnologicheskoi skhemy vydeleniya butan-butilenovoi fraktsii metodom khemosorbtsii s ispol'zovaniem trubchatogo turbulentnogo apparata [Improving the Technological Scheme of Isolation of Butane-Butylene Fraction by Chemisorption using Tubular Turbulent Apparatus]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii – Theoretical Foundation of Chemical Engineering*, 2019, Vol. 53, No. 5, pp. 517-522. DOI: 10.1134/S0040357119050117. [in Russian].

6. Nasyrov I.Sh., Shurupov O.K., Sheludchenko V.A., Shevlyakov F.B., Zakharov V.P. Issledovanie vliyaniya okislitel'no-vosstanovitel'nogo potentsiala rastvora mednoammiachnogo na ego stabil'nost' v protsesse vydeleniya butadiena iz fraktsii S<sub>4</sub> piroliza uglevodorodov metodom khemosorbtsii [Investigation of the Influence of the Redox Potential of a Copper-Ammonia Solution on its Stability in the Process of Butadiene Separation from the C<sub>4</sub> Fraction of Hydrocarbon Pyrolysis by Chemisorption]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya – Chemical Industry Today*, 2017, No. 6, pp. 16-20. [in Russian].

7. Umergalin T.G., Gareeva I.Yu. *Protsessy i oborudovanie gazopererabotki i gazokhimii* [Processes and Equipment for Gas Processing and Gas Chemistry]. Ufa, UGNTU Publ., 2018. 102 p. [in Russian].

8. Shevlyakov F.B., Umergalin T.G., Zakharov V.P. *Ispol'zovanie trubchatogo turbulentnogo apparata v neftegazovykh i khimicheskikh protsessakh* [The use of Tubular Turbulent Apparatus in Oil and Gas and Chemical Processes]. Ufa, RITs BashGU Publ., 2018. 204 p. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Шевляков Фёдор Борисович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Газохимия и моделирование химико-технологических процессов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Fedor B. Shevlyakov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Gas Chemistry and Methodology of Chemical Engineering Processes Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: sfb1980@mail.ru

Насыров Ильдус Шайхитдинович, канд. хим. наук, заместитель директора по производству (по науке) ООО «Управляющая Компания «ТАУ НефтеХим», г. Стерлитамак, Российская Федерация

Ildus Sh. Nasyrov, Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director for Production (Science), Management Company TAU NefteChem LLC, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: nasyrov.ish@skstr.ru

Умергалин Талгат Галеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Газохимия и моделирование химико-технологических процессов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Talgat G. Umergalin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Gas Chemistry and Methodology of Chemical Engineering Processes Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: umergalin2010@yandex.ru