

УДК 661.7

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ БУТАН-БУТИЛЕНОВОЙ  
ФРАКЦИИ МЕТОДОМ ХЕМОСОРБЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТРУБЧАТОГО ТУРБУЛЕНТНОГО АППАРАТА**

**ESTIMATION OF EFFICIENCY BUTANE-BUTYLENE  
FRACTION PURIFICATION OBTAINED BY THE METHOD  
OF CHEMISORPTION WITH THE USE OF TUBULAR TURBULENT  
APPARATUS**

**Ф.Б. Шевляков, Т.Г. Умергалин, О.К. Шурупов, В.П. Захаров**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,**

**г. Уфа, Российская Федерация**

**Башкирский государственный университет,**

**г. Уфа, Российская Федерация**

**Fedor B. Shevlyakov, Talgat G. Umergalin, Oleg K. Shurupov,**

**Vadim P. Zakharov**

**Ufa State Petroleum Technological University,**

**Ufa, Russian Federation**

**Bashkir State University, Ufa, Russian Federation**

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

**Аннотация.** Одним из продуктов разделения бутилен-бутадиеновой фракции методом хемосорбции является бутан-бутиленовая фракция. Данная фракция содержит в своем составе бутадиен 0,5 % массовых долей и более, что является нежелательной примесью при использовании фракции в качестве сырья для синтеза метилтребутилового эфира или олигомеров бутиленов из-за снижения активности катализаторов. Изучена возможность очистки бутан-бутиленовой фракции от остаточного

содержания бутадиена при смешивании с водно-аммиачным раствором ацетата одновалентной меди. Проведены эксперименты по очистке бутан-бутиленовой фракции с водно-аммиачным раствором ацетата одновалентной меди как без перемешивания, так и с перемешиванием лопастной мешалкой и применением статического аппарата смешения – трубчатый турбулентным аппаратом. Технологические параметры процессов, кроме интенсивности перемешивания, во всех случаях были одинаковыми.

Оценку эффективности очистки на основе хемосорбции проводили по содержанию бутадиена в бутан-бутиленовой фракции и в водно-аммиачном растворе ацетата одновалентной меди до и после очистки. Результаты анализа по очистке бутан-бутиленовой фракции, полученные в условиях массообменного процесса в статических условиях, свидетельствовали о снижении содержания бутадиена в углеводородной фракции за счет перехода его в состав комплекса водно-аммиачного раствора ацетата одновалентной меди. Воспроизведение смешивания с перемешиванием лопастной мешалкой позволило увеличить степень очистки бутан-бутиленовой фракции от бутадиена. Наилучшие результаты по очистке бутан-бутиленовой фракции получены при использовании трубчатого турбулентного аппарата. При этом эффективность очистки составила 82,3 %, остаточное содержание бутадиена в углеводородной фракции составило 0,11 % массовых долей.

**Abstract.** Butane-butylene fraction is the one of the products of the separation of the butylene-butadiene fraction by the chemisorption method. This fraction contains butadiene up to 0.5 % mass. and more, which is an undesirable impurity while using the fraction as a raw material for the synthesis of methyl-tert-butyl ether or butylene oligomers due to decrease catalysts efficiency. Possibility of purification of butane-butylene fraction from butadiene residue by mixing with water-ammonia solution of monovalent copper acetate is studied. Experiments on the purification of the butane-butylene fraction with a water-

ammonia solution of monovalent copper acetate were carried out, without as well as with mixing by a paddle stirrer and using a static mixing apparatus – a tubular turbulent apparatus. Technological parameters of the process were the same in all cases, excluding intensity of mixing.

Evaluation of chemisorption cleaning efficiency was carried out by content of butadiene in the butane-butylene fraction and in the ammonium-copper solution before and after cleaning. The results of analysis of the butane-butylene fraction purification obtained under conditions of mass exchange process under static conditions are indicating a decrease in the content of butadiene in the hydrocarbon fraction due to its transition into the complex with water-ammonia solution of monovalent copper acetate. Repeated mixing with a paddle stirrer allowed to increase the degree of purification of the butane-butylene fraction from butadiene. The best results in the purification of the butane-butylene fraction were obtained using a tubular turbulent apparatus, where the cleaning efficiency was 82.3 % and the residual content of butadiene in the hydrocarbon fraction was 0.11 % mass.

**Ключевые слова:** бутан-бутиленовая фракция, производство бутадиена, ректификация, гидрирование, хемосорбция, трубчатый турбулентный аппарат, расходный коэффициент, флегма

**Key words:** butane-butylene fraction, butadiene production, rectification, hydrogenation, chemisorption, tubular turbulent apparatus, flow coefficient, phlegm

Для разделения смеси углеводородов фракции  $C_4$ , различающихся ненасыщенностью химических связей, распространена экстрактивная ректификация и хемосорбция [1, 2]. Основным сырьем бутадиенсодержащих углеводородов является бутилен-бутадиеновая фракция (ББФ), получаемая пиролизом. ББФ содержит бутадиен от 35 до 55 % масс., остальные компоненты – бутан, бутилены, примеси легких

углеводородов  $C_{3-}$ , тяжелые углеводороды  $C_{5+}$ , ацетиленовые углеводороды. Способом разделения фракции ББФ на бутadiеновую и бутан-бутиленовую фракции на ОАО «Стерлитамакский нефтехимический завод» является хемосорбция, который требует использование сырья высокой чистоты. В связи с этим присутствие примесей обуславливает проведение очистки фракции ББФ перед хемосорбцией: методом ректификации от тяжелых  $C_{5+}$  и легких  $C_{3-}$  углеводородов, влаги и метанола, гидрирование на селективном катализаторе [3, 4]. Использование метода хемосорбции в производстве бутadiена более полувека сопровождалось новыми техническими решениями по модернизации технологической схемы, оборудования, разработки и внедрении селективного катализатора гидрирования и других вспомогательных материалов [5, 6]. В результате технологических преобразований найдены технические решения по выделению бутadiеновой фракции высокой чистоты, предназначенной для производства эластомеров с заданными характеристиками. Вторым многотаннажным продуктом процесса хемосорбции является бутан-бутиленовая фракция, требование к которой ограничивается по выдерживанию регламентной нормы бутadiена не более 0,5 % масс., обусловленной технико-экономическими расчетами, допустимыми потерями при выделении целевого продукта – бутadiеновой фракции. Большое количество технологических узлов, изменение качества перерабатываемого сырья периодически приводят к отклонению по содержанию бутadiена в бутан-бутиленовой фракции от нормируемого значения в большую сторону.

Бутadiен, содержащийся в составе бутан-бутиленовой фракции, определяет потери бутadiена на стадии хемосорбции и в целом по производству бутadiена, численное значение которого рассчитывается по расходному коэффициенту [7]. Обоснование расходного коэффициента выделения бутadiена из ББФ с использованием сырья разного качества для выработки бутadiена является актуальной задачей.

На действующей технологической схеме разделения фракции ББФ методом хемосорбции поглотительным водно-аммиачным раствором ацетата одновалентной меди (МАР) отсутствует флегмовая линия возврата бутан-бутиленовой фракции на орошение колонны хемосорбции, что не позволяет регулировать содержание бутадиена в испаряющейся фракции. Описанные в литературе способы очистки бутан-бутиленовой фракции основываются на использовании дополнительной стадии гидрирования с использованием селективного катализатора, содержащего в качестве носителя  $\gamma$ -окись алюминия, палладий, цинк металлический и медь на титан-силикате. Данные способы предполагают применение установки гидрирования, приготовления катализаторов, вовлечение водорода, что сопровождается протеканием побочного процесса – гидрирования бутиленов [1].

Целью данной работы являлось изучение возможности очистки бутан-бутиленовой фракции от остаточного содержания бутадиена путем смешивания с водно-аммиачным раствором ацетата одновалентной меди в трубчатом турбулентном аппарате.

### **Методика эксперимента**

В лабораторных условиях проведено смешение раствора МАР с бутан-бутиленовой фракцией. Состав исходного раствора МАР представлен в [5]. К МАР объемом 100 мл с температурой минус 10 °С добавили бутан-бутиленовую фракцию объемом 20 мл с температурой минус 10 °С без перемешивания (пример 1) и с перемешиванием лопастной мешалкой в течение 30 с в круглодонной колбе (пример 2). При аналогичных условиях примера 1 (температуре и объемных соотношениях перемешиваемых сред) смешение проводили в потоке трубчатого турбулентного аппарата (пример 3), далее полученную смесь выдерживали без перемешивания 30 с, после чего проводился анализ углеводородов, поглощенных МАР.

Компонентный состав углеводородов бутан-бутиленовой фракции анализировали методом газожидкостной хроматографии с использованием пламенно-ионизационного детектора. Неподвижная фаза – три-н-бутилфосфат на диатомите, жидкая фаза – полиэтиленгликоль ПЭГ-2000, газ-носитель – гелий, температура колонки 15–40 °С. Массовую долю фракции углеводородов определяли методом внутренней нормализации.

Компонентный состав поглощенных МАР углеводородов определяли хроматографически методом абсолютной градуировки. Объем пробы, подаваемый на анализ в испаритель, составляет 1–2 мл. В испарителе углеводороды десорбируются из МАР, далее разделяются на фракции в колонке. Условия хроматографирования: колонка с неподвижной фазой – диатомитовый кирпич фракции 0,16–0,25 мм, неподвижная фаза – полиэтиленгликоль ПЭГ-2000, газ-носитель – гелий; температура испарителя 175 °С, термостата колонки 70 °С.

## Результаты

Из-за различия по плотностям смешиваемых сред (плотность раствора МАР – 1,12 г/см<sup>3</sup>, плотность бутан-бутиленовой фракции – 0,65 г/см<sup>3</sup>) в испытании без перемешивания формировалась расслоенная система, и абсорбция бутадиена раствором МАР происходила на поверхности раздела фаз. Компонентные составы МАР, насыщенного углеводородами С<sub>4</sub>, и бутан-бутиленовой фракции приведены в таблицах 1 и 2. В результате эффективность очистки без перемешивания составила 6,45 % (таблица 2). Использование перемешивающего устройства способствовало увеличению удельной поверхности контакта фаз и абсорбции в раствор МАР бутадиена (таблицы 1 и 2). Эффективность поглощения по данному способу составила 25,8 % (таблица 2) и подтвердила целесообразность использования перемешивающих устройств для очистки бутан-бутиленовой фракции.

Использование объемного аппарата смешения для формирования высокодисперсных систем требует энергетических затрат на работу мешалки и не предотвращает гравитационного расслоения углеводородной среды и МАР. Исходя из этого в качестве перемешивающего устройства должен быть статический аппарат. При получении высокодисперсных систем успешно зарекомендовал себя трубчатый турбулентный аппарат диффузор-конфузорной конструкции [8–10]. В связи с этим дальнейшее исследование по увеличению поверхности раздела фаз было проведено с использованием этого аппарата.

При очистке бутан-бутиленовой фракции от бутадиена при смешивании с раствором МАР с применением трубчатого турбулентного аппарата эффективность очистки составила 82,3 %, остаточное содержание бутадиена в углеводородной фракции равно 0,11 % масс. (таблица 2).

**Таблица 1.** Результаты анализа состава поглотительного раствора МАР

Раствор МАР	Массовая доля компонентов, % масс.	
	Бутилены	Бутадиен
Исходный	0,01	0,095
По примеру 1	0,057	0,12
По примеру 2	0,16	0,21
По примеру 3	0,19	0,32

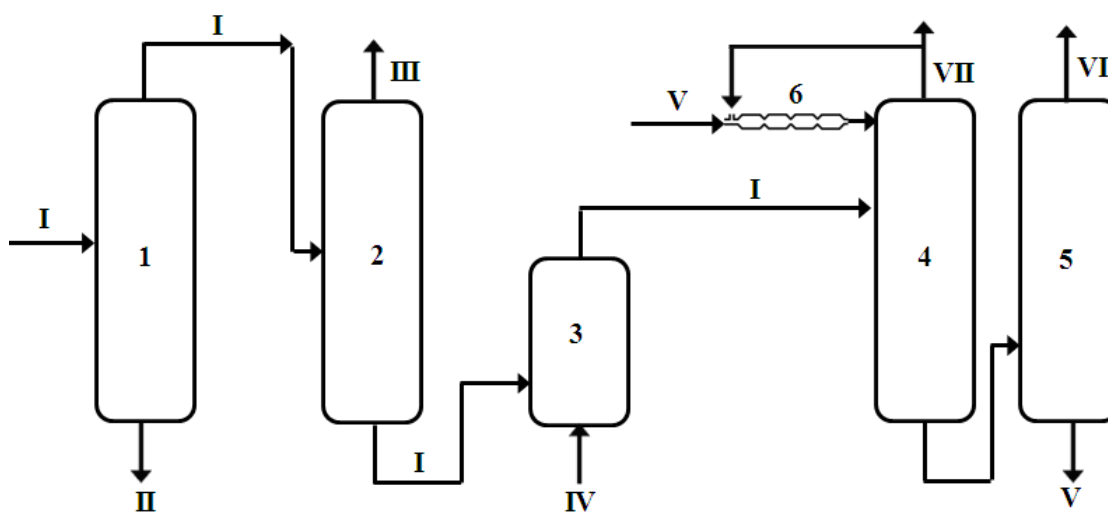
**Таблица 2.** Результаты анализа состава бутан-бутиленовой фракции

Бутан-бутиленовая фракция	Массовая доля компонентов, % масс.				Эффективность очистки, %
	i-бутан	n-бутан	Σ бутиленов	бутадиен	
Исходная	5,05	11,52	82,81	0,62	0
По примеру 1	5,09	11,55	82,78	0,58	6,45
По примеру 2	5,17	11,57	82,80	0,46	25,8
По примеру 3	5,25	11,85	82,79	0,11	82,3

Полученные результаты очистки бутан-бутиленовой фракции от остаточного содержания бутадиена с использованием трубчатого

турбулентного аппарата могут быть рекомендованы к использованию в производстве бутадиена, выделяемого хемосорбцией, где дистиллят колонны хемосорбции – бутан-бутиленовую фракцию – предлагается возвращать в колонну в смеси с поглотительным раствором МАР через трубчатый турбулентный аппарат.

Технологическая схема очистки бутан-бутиленовой фракции по рассматриваемому способу представлена на рисунке 1. На действующей технологической установке, включающей стадию ректификации ББФ от легких и тяжелых углеводородов, влаги и метанола, гидрирование на селективном катализаторе ацетиленовых углеводородов, хемосорбцию поглотительным раствором МАР возвращать часть бутан-бутиленовой фракции в качестве флегмы на колонну хемосорбции в смеси с поглотительным раствором МАР через трубчатый турбулентный аппарат.



I – сырьевой поток; II – углеводороды фракции  $C_{5+}$ ; III – вода и метанол;  
 IV – водород; V – МАР; VI – бутадиеновая фракция;  
 VII – бутан-бутиленовая фракция

1, 2 – колонны ректификации; 3 – реактор гидрирования, 4 – колонна абсорбции,  
 5 – колонна десорбции; 6 – трубчатый турбулентный аппарат

**Рисунок 1.** Схема выделения бутадиеновой фракции и очистки бутан-бутиленовой фракции

Проведена оценка степени влияния конструкционного изменения узла хемосорбции путем возврата бутан-бутиленовой фракции в колонну в



смеси с поглотительным раствором МАР через трубчатый турбулентный аппарат на расходный коэффициент расчетным путем.

Эффективность возврата бутадиена в систему хемосорбции и извлечения его с бутадиеновой фракцией оценена с использованием расчетного комплекса «Программа расчета расходной нормы бутадиена-1,3 при выделении из бутадиенсодержащих фракций хемосорбцией» [11], в которой расходный коэффициент на стадии хемосорбции рассчитывается как отношение бутадиена на выходе к поступающему бутадиену на рассматриваемой стадии:

$$P = \frac{C''_{\text{бутадиен}} \cdot Q_{\text{вх}}}{C'_{\text{бутадиен}} \cdot Q_{\text{вых}}}, \text{ т/т,}$$

где  $C'$  и  $C''$  – содержания бутадиена соответственно в выходящем и входящем углеводородных потоках технологической стадии, % масс.;

$Q_{\text{вых}}$ ,  $Q_{\text{вх}}$  – расходы углеводородной фракции выходящего и входящего углеводородных потоков, т/ч.

Рассматриваемый способ очистки бутан-бутиленовой фракции позволяет увеличить выход бутадиеновой фракции и, соответственно, снизить расходный коэффициент по производству бутадиена. Результаты вычисления расходного коэффициента бутадиена представлены в таблице 3. Для условий очистки бутан-бутиленовой фракции с применением трубчатого турбулентного аппарата показано, что снижение содержания бутадиена в бутан-бутиленовой фракции с 0,6 % масс. до 0,1 % масс. позволяет снизить расходный коэффициент на 0,0038 т/т, что при переработке фракции ББФ с нагрузкой 10 т/ч, подаваемой в начало технологической установки, и содержанием бутадиена 50 % масс. приводит к увеличению выработки бутадиеновой фракции в месяц на 14,5 т. Данный расчет является оценочным, поскольку не учитывает возможность варьирования множеством технологических режимов колонны хемосорбции и фактического состава многокомпонентного сырья.

**Таблица 3.** Результаты расчета расходного коэффициента

Содержание бутиленов в бутан- бутиленовой фракции, % масс.	Откачка бутиленов в бутан- бутиленовой фракции, т/ч	Откачка бутадиеновой фракции, т/ч	Расходный коэффициент, т/т
99,0	3,99	5,65	1,0926
99,1	3,99	5,65	1,0918
99,2	3,99	5,66	1,0910
99,3	3,98	5,66	1,0902
99,4	3,98	5,67	1,0895
99,5	3,97	5,67	1,0887
99,6	3,97	5,67	1,0879
99,7	3,97	5,68	1,0872
99,8	3,96	5,68	1,0864
99,9	3,96	5,69	1,0857
99,99	3,95	5,69	1,0850
Изменения показателей в выбранном диапазоне			
~1,0 %	0,04	0,04 (28,8 т/месяц)	0,0076

### Выводы

Проведение очистки бутан-бутиленовой фракции от бутадиена возможно при смешивании с водно-аммиачным раствором ацетата одновалентной меди, эффективность очистки увеличивается при интенсификации перемешивания, наилучшие результаты эффективности очистки – 82,3 % – получены в трубчатом турбулентном аппарате. Рассматриваемый способ позволяет снизить расходный коэффициент бутадиена и увеличить выработку бутадиеновой фракции до 14,5 т/масс.

### Список используемых источников

1. Платэ Н.А. Основы химии и технологии мономеров. М.: Наука, 2002. 696 с.

2. Павлов О.С., Карсаков С.А., Павлов С.Ю. Развитие процессов разделения  $C_4$ -углеводородов и очистки 1,3-бутадиена // Теоретические основы химической технологии. 2011. Т. 45. № 6. С. 669-678.

3. Касьянова Л.З., Каримов Э.Х., Каримов О.Х. Гидрирование бутадиен содержащих фракций на поверхности палладиевого катализатора // Приволжский научный вестник. 2012. № 6 (10). С. 6-8.

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.

5. 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  $C_4$  пиролиза углеводородов методом хемосорбции // Химическая промышленность сегодня. 2017. № 6. С. 16-20.

6. Насыров И.Ш., Шурупов О.К., Шелудченко В.А., Захаров В.П., Шевляков Ф.Б. Регенерация водно-аммиачного раствора ацетата одновалентной меди в производстве бутадиена // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2018. № 4. С. 21-25.

7. Насыров И.Ш., Шурупов О.К., Шелудченко В.А., Захаров В.П., Умергалин Т.Г., Шевляков Ф.Б. Оценка влияния состава сырья и технологических параметров отдельных стадий выделения бутадиена-1,3 из бутилен-бутадиеновой фракции методом хемосорбции на расходный коэффициент бутадиена // Башкирский химический журнал. 2017. Т. 24. № 4. С. 55-61.

8. Захаров В.П., Минскер К.С., Шевляков Ф.Б., Берлин А.А., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Коноплев А.А. Интенсификация газожидкостных процессов в трубчатых турбулентных аппаратах // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 11. С. 1822-1825.

9. Захаров В.П., Умергалин Т.Г., Шевляков Ф.Б., Мурзабеков Б.Е., Захарова Е.М. Гидродинамический режим работы турбулентного аппарата приводной отмывке газового конденсата // Химическая промышленность сегодня. 2015. № 2. С. 24-31.

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

11. Шевляков Ф.Б., Умергалин Т.Г., Ямалдинов А.Р., Насыров И.Ш., Шурупов О.К., Шелудченко В.А. Программа расчёта расходной нормы бутадиена-1,3 при выделении из бутадиен содержащих фракций хемосорбцией. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РФ № 2018617562. 2018.

## References

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

2. Pavlov O.S., Karsakov S.A., Pavlov S.Iu. Razvitie protsessov razdeleniia C<sub>4</sub>-uglevodorodov i ochistki 1,3-butadiena [Development of C<sub>4</sub>-Hydrocarbon Separation and 1,3-Butadiene Purification]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii – Theoretical Basis of Chemical Technology*, 2011, Vol. 45, No. 6, pp. 669–678. [in Russian].

3. Kas'ianova L.Z., Karimov E.Kh., Karimov O.Kh. Gidrirovaniye butadiene sodержashchikh fraktsii na poverkhnosti palladievogo katalizatora [Hydrogenation of Butadiene-Containing Fractions on the Surface of a Palladium Catalyst]. *Privolzhskii nauchnyi vestnik – Volga Scientific Bulletin*, 2012, No. 6 (10), pp. 6–8. [in Russian].

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

5. Nasyrov I.Sh., Shurupov O.K., Sheludchenko V.A., Shevliakov F.B., Zakharov V.P. Issledovanie vliyaniya okislitel'no-восстановitel'nogo potentsiala rastvora mednoammiachnogo na ego stabil'nost' v protsesse vydeleniya butadiena iz fraktsii S4 piroliza uglevodorodov metodom khemosorbtsii [Investigation of the Effect of the Redox Potential of a Copper – Ammonia Solution on Its Stability in the Process of isolating Butadiene from the C4 Fraction of Hydrocarbon Pyrolysis by the Method of Chemisorption]. *Khimicheskaiia promyshlennost' segodnia – Chemical Industry Today*, 2017, No. 6, pp. 16–20. [in Russian].

6. Nasyrov I.Sh., Shurupov O.K., Sheludchenko V.A., Zakharov V.P., Shevliakov F.B. Regeneratsiyavodno-ammiachnogo rastvora atsetata odnovalentnoi medi v proizvodstve butadiena [Regeneration of Ammonium Acetate Monovalent Copper Solution in Butadiene Production]. *Neftepererabotka i neftekhimiia. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoi opyt – Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and Technical Achievements and Best Practices*, 2018, No. 4, pp. 21–25. [in Russian].

7. Nasyrov I.Sh., Shurupov O.K., Sheludchenko V.A., Zakharov V.P., Umergalin T.G., Shevliakov F.B. Otsenka vliyaniya sostava syr'ya i tekhnologicheskikh parametrov otdel'nykh stadii vydeleniya butadiena-1,3 iz butilen-butadienovoi fraktsii metodom khemosorbtsii na raskhodnyi koeffitsient butadiena [Evaluation of the Influence of the Composition of Raw Materials and Technological Parameters of Individual Stages of the Selection of Butadiene-1,3 from the Butylene-Butadiene Fraction by the Method of Chemisorption on the Expenditure Ratio of Butadiene]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal – Bashkir Chemical Journal*, 2017, Vol. 24, No. 4, pp.55-61. [in Russian].

8. Zakharov V.P., Minsker K.S., Shevliakov F.B., Berlin A.A., Aleksanian G.G., Rytov B.L., Konoplev A.A. Intensifikatsiya gazozhidkostnykh protsessov v trubchatykh turbulentnykh apparatakh [Intensification of Gas-Liquid Processes in Tubular Turbulent Devices]. *Zhurnal prikladnoi khimii – Journal of Applied Chemistry*, 2004, Vol. 77, No. 11, pp. 1822–1825. [in Russian].

9. Zakharov V.P., Umegalin T.G., Shevliakov F.B., Murzabekov B.E., Zakharova E.M. Gidrodinamicheskii rezhim raboty turbulentnogo apparata privodnoi otmyvke gazovogo kondensata [Hydrodynamic Mode of Operation of the Turbulent Apparatus for Water Washing Gas Condensate]. *Khimicheskaiia promyshlennost' segodnia – Chemical Industry Today*, 2015, No. 2, pp. 24–31. [in Russian].

10. Shevliakov F.B., Umegalin T.G., Zakharov V.P. *Ispol'zovanie trubchatogo turbulentnogo apparata v neftegazovykh i khimicheskikh protsessakh* [The Use of a Tubular Turbulent Apparatus in Oil and Gas and Chemical Processes]. Ufa, Bashkir State University Publ., 2018. 204 p. [in Russian].

11. Shevlyakov F.B., Umegalin T.G., Yamaldinov A.R., Nasyrov I.Sh., Shurupov O.K., Sheludchenko V.A. *Programma rascheta raskhodnoi normy butadiena-1,3 pri vydelenii iz butadien sodержashchikh fraktsii khemosorbtsiei. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programm dlya EVM RF № 2018617562* [The Program for Calculating the Expenditure Rate of butadiene-1.3 in the selection of Butadiene-Containing Fractions by Chemisorption. Certificate of State Registration of Computer Programs of the Russian Federation No. 2018617562]. 2018.

## Сведения об авторах

### About the authors

Шевляков Федор Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры общей и аналитической химии, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Fedor B. Shevlyakov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of General and Analytical Chemistry Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: sfb1980@mail.ru

Умергалин Талгат Галеевич, д-р техн. наук, профессор кафедры газохимии и моделирования химико-технологических процессов, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

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

E-mail: umergalin2010@yandex.ru

Шурупов Олег Константинович, аспирант кафедры газохимии и моделирования химико-технологических процессов, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Oleg K. Shurupov, Post-graduate student of Gas Chemistry and Modeling of Chemical Engineering Processes Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: shurupov.ok@uktau.ru

Захаров Вадим Петрович, д-р хим. наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Vadim P. Zakharov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice-Rector for Science and Innovation, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ZaharovVP@bashedu.ru