

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ $\text{CuSO}_4$ НА КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛОРАЛЮМИНАТНОЙ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ В РЕАКЦИИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕКСАНА

УДК 66.095.21.  
097:665.656.2

THE STUDY OF INFLUENCE OF ADDITION  $\text{CuSO}_4$  ON THE CATALYTIC PROPERTIES OF CHLOROALUMINATE IONIC LIQUID IN THE REACTION OF ISOMERIZATION OF N-HEXANE

Ибрагимов А.А., Хакимов В.Н.,  
Кочкина Е.В., Обидова А.К.,  
Имаева Л.Р., Рахимов М.Н.  
ФГБОУ ВПО «Уфимский  
государственный нефтяной  
технический университет», г. Уфа,  
Российская Федерация

A.A. Ibragimov, V.N. Hakimov,  
E.V. Kochkina, A.K. Obidova,  
L.R. Imaeva, M.N. Rakhimov  
FSBEI NPE "Ufa State Petroleum  
Technological University",  
Ufa, the Russian Federation

В статье представлены результаты исследований влияния содержания сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ) в составе ионной жидкости состава  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{NH-Al}_2\text{Cl}_7$  на ее каталитическую активность в жидкофазной реакции изомеризации н-гексана. Установлено, что при мольной доле добавки 0,08 моль/моль выход изомеров гексана достигает максимума и составляет 27,54% масс. Обнаружено, что дальнейшее увеличение содержания активирующей добавки до 0,24 моль/моль приводит к снижению глубины изомеризации до прежней величины 18-20% масс. Показано, что наряду с ускорением целевых реакций скелетной изомеризации происходит более значительное усиление побочных реакций крекинга и диспропорционирования, приводящих к образованию изобутана, изопентана и высокомолекулярных углеводородов  $\text{C}_7^+$ , что незначительно снижает выход компонентов изо- $\text{C}_5^+$  и приводит к снижению показателя селективности образования изомеров гексана на 24% масс. В составе изомеров гексана преобладают 2-метилпентан и 2,2-диметилбутан, что согласуется с кинетическими закономерностями, однако состав изогексанов отличается от термодинамически равновесного состава при температуре 30 °С. Обсуждены возможные причины действия активирующей добавки, на каталитическую активность синтезированной хлоралюминатной ионной жидкости (ХАИЖ). Полученная ионная жидкость состава  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{NH-Al}_2\text{Cl}_7$  с мольной долей сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ) 0,08 моль/моль характеризуется высокой каталитической активностью при низких температурах в реакции изомеризации линейных алканов. Данное обстоятельство принимает особое значение в перспективе использования в качестве сырья широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) или легких бензиновых фракции с концом кипения 70, 80 °С, для процесса изомеризации в присутствии катализатора хлоралюминатной ионной жидкости с получением ценных компонентов товарных автобензинов и сырья для нефтехимии.

The results of the effect of copper sulfate content ( $\text{CuSO}_4$ ) comprising an ionic liquid composition  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{NH-Al}_2\text{Cl}_7$  on the catalytic activity in the liquid phase isomerization reaction of n-hexane is presented. It is founded that the mole fraction of additive has 0,08 mol/mol output of isomers of n-hexane gets a maximum and amount equals 27.54 % by weight. It is shown that a further increase amount of addition to 0,24 mol/mol leads to the reduction of conversion of n-hexane to the previous value of 18-20 % wt. The addition to the acceleration target reactions skeletal isomerization occurs more significantly side reactions of cracking and disproportionation, resulting formation of isobutane, isopentane and high-molecular weight hydrocarbons  $\text{C}_7^+$  that slightly decreases the yield of components iso- $\text{C}_5^+$  and leads to decrease of the selectivity of hexane isomers on 24 % wt is established.

As part of hexane isomers 2-methylpentane and 2,2-dimethylbutane are prevailed which is consistent with the kinetic properties of their formation, however the composition differs from isohexanes thermodynamic equilibrium composition at the temperature of 30 °C. Possible reasons for the action of promote addition on the catalytic activity of the synthesized chloroaluminate ionic liquid (HAIL) is discussed. The resulting ionic liquid composition of  $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{NH-Al}_2\text{Cl}_7$  with the mole fraction of copper sulfate  $\text{CuSO}_4$  0,08 mole / mole characterized by a high catalytic activity at low temperatures in the reaction of isomerization of linear alkanes. This fact assumes particular importance in the future be used as a catalyst of the process of isomerization in the presence of ionic liquid as a feedstock wide fraction of light hydrocarbons or light gasoline fractions from the end of boiling 70, 80 °C to obtain valuable commodity components of gasoline and petrochemical feedstock.

**Ключевые слова:** изомеризация, ионная жидкость, н-гексан, суперкислота, хлорид алюминия, сульфат меди, карбокатион.

**Key words:** isomerization, ionic liquid, n-hexane, super acid, aluminum chloride, cooper sulfate, carbocation.

## Введение

Современный уровень требований к качеству моторных топлив определяется не столько необходимостью обеспечения их эксплуатационных характеристик, сколько экологической безопасностью работы двигателей. Ужесточаются требования к

содержанию ароматических углеводородов (бензола) и сернистых соединений в составе товарных бензинов, что вызывает проблему оптимизации бензинового фонда отечественных НПЗ, решение которой основано на проведении модернизации действующих производств, а главное на внедрении новых процессов и катализаторов [1, 2].

Основным путем решения проблемы получения высокооктановых бензинов с пониженным содержанием ароматических углеводородов является вовлечение в их состав оксигенатов, алкилбензина и изомеризата.

В процессе изомеризации пентан-гексановых фракций образуются изоалканы, октановые характеристики которых позволяют заметно снижать долю ароматических углеводородов в бензинах [3].

Традиционные бифункциональные катализаторы, которые представляют собой твердые кислоты, с нанесенными на них благородными металлами, способны эффективно проводить процесс изомеризации легких алканов в интервале температур от 120 до 450 °С [4]. Однако в последнее время большой интерес представляет создание каталитических систем, которые позволяют снизить температуры процесса, что способствует увеличению выхода более разветвленных алканов. Известно, что жидкие суперкислоты катализируют процесс изомеризации легких алканов при температурах 20–40 °С с образованием изоалканов, в которых значительно содержание дизамещенных изомеров, для которых характерны наиболее высокие октановые числа. В то же время данные каталитические системы вызывают серьезные технологические затруднения, связанные с их низкой стабильностью, коррозионной активностью и сложностью регенерации, а импрегнация на твердофазный носитель приводит к снижению их каталитической активности [5].

В связи с чем, авторами были исследованы каталитические системы, которые сочетали бы в себе свойства жидких кислот, но были бы экологически безопасными. К таким системам относятся ионные жидкости – жидкофазные расплавы солей при температуре ниже 100 °С, состоящие из гетероорганического катиона и неорганического аниона. Преимущество использования ионных жидкостей связано с их уникальными физико-химическими свойствами, а именно с сочетанием свойств, растворителей и катализаторов [6]. Ионные жидкости позволяют повысить выход целевых продуктов, снизить количество отходов и вредных выбросов за счет более полной регенерации и возврата их в технологический процесс [7,10-12].

Принципиальная возможность проведения реакций скелетной изомеризации  $n$ -алканов  $C_5$ - $C_7$  в мягких условиях в присутствии ионных жидкостей показана в работах [13, 14]. Конверсия алканов достигала 50-60% масс. при селективности образо-

вания изоалканов – 95% масс. В работе немецких ученых в качестве катализатора процесса изомеризации  $n$ -октана использовали комплекс на основе хлоралюминатной ионной жидкости и серной кислоты; добавка серной кислоты к ионной жидкости в количестве 0,14% масс. позволила повысить выход целевых изомеров изооктанов до 10% масс [15]. Авторами работы [16] были проведены перспективные исследования влияния добавок солей переходных металлов на каталитические свойства хлоралюминатной ионной жидкости в реакции изомеризации  $n$ -пентана. Целью данной работы является изучение влияния содержания  $CuSO_4$  в хлоралюминатной ионной жидкости на выход изоалканов в реакции изомеризации  $n$ -гексана.

#### Экспериментальная часть

В качестве сырья использовали  $n$ -гексан, с содержанием основного вещества не менее 99,5% масс. В качестве компонентов каталитической системы использовали твердые соли триэтиламин гидрохлорид и хлорид алюминия, сульфат меди (II).

Углеводороды были отогнаны над металлическим натрием непосредственно перед применением. Твердую соль, триэтиламин гидрохлорид, с содержанием основного вещества 99,89% масс., подвергали азеотропной сушке с  $n$ -гептаном до содержания воды не более 0,03% масс. Безводный хлорид алюминия с содержанием основного вещества не менее 97,0% масс. был очищен путем двойной возгонки в инертной среде (сухой азот) непосредственно перед синтезом. Твердую соль сульфат меди  $CuSO_4$  прокачивали при температуре 150 °С в муфельной печи в инертной среде в течение 2 ч.

Ионная жидкость (ИЖ) была синтезирована следующим образом. Триэтиламин гидрохлорид добавляли в  $n$ -гептан при медленном перемешивании и температуре 20 °С, далее к полученной смеси добавляли двойной мольный избыток хлорида алюминия, после чего смесь перемешивалась в течение 2 ч при температуре 80 °С. По окончании синтеза, верхний слой растворителя был удален на делительной воронке, нижний слой представлял собой вязкую светло-коричневую жидкость. На следующей стадии к полученной ионной жидкости добавляли точно рассчитанное количество  $CuSO_4$  и интенсивно перемешивали в течение 2 ч при температуре 80 °С.

Изомеризацию  $n$ -гексана проводили в реакторе, снабженном механической мешалкой, термометром, обратным холодильником, соединенным с отводом, конец которого помещен в охлажденный сосуд с  $n$ -гептаном для улавливания образующихся в ходе реакции газов и вводом для продувки инертным газом перед началом эксперимента. Отбор углеводородной фазы производился после охлаждения реакционной массы на ледяной бане до 0 °С. Были приняты следующие технологические параметры

процесса: температура – 30 °С, продолжительность реакции – 1 ч, скорость перемешивания – 1200 об./мин., объёмное соотношение катализатора к субстрату 1–1 [17].

Оценку показателей каталитической активности ИЖ в процессе изомеризации н-гексана проводили путем расчета конверсии (X, % масс.), селективности образования жидких изоалканов ( $S_{i-C_5+}$ , % масс.), селективности образования изомеров гексана ( $S_{i-C_6}$ , % масс.) и выходу изомеризата (B, % масс.) [18].

Анализ углеводородного состава полученных продуктов проводили газо-хроматографическим методом. Катализат анализировали на хроматографе Хроматек Кристалл 5000.1 с капиллярной колонкой длиной 50 м и внутренним диаметром 0,25 мм, в качестве разделяющей фазы использовался сквалан. Идентификация компонентов анализируемой смеси проводилась сравнением времени удерживания с эталонными индивидуальными веществами.

### Результаты и их обсуждение

В ходе исследований были подготовлены 8 образцов катализатора с различной мольной долей добавки – сульфата меди (0; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04; 0,08; 0,12; 0,24 моль/моль). В таблице 1 представлен компонентный состав изомеризата в зависимости от содержания добавки в катализаторе.

Анализ результатов исследований показывает, что синтезированная хлоралюминатная ионная жидкость в мягких условиях катализирует изомеризацию н-гексана, что является признаком суперкислотности. Конверсия достигает 20% масс. при продолжительности реакции 1 ч. При увеличении мольной доли сульфата меди в ионной жидкости с 0,01 до 0,08 сумма изомеров гексана в катализате

увеличивается в 1,7 раза; дальнейшее повышение мольной доли до величины 0,24 приводит к снижению выхода изогексанов. Аналогичная закономерность наблюдается и для побочных продуктов реакции, в частности содержание изобутана и изопентана в катализате достигает максимума при концентрации  $CuSO_4$  в ХАИЖ 0,08 моль/моль 6,02 и 5,16% масс., а при мольной доле добавки 0,24 их содержание снижается до 2,65 и 1,89% масс., соответственно. Концентрация в изомеризате высокомолекулярных углеводородов  $C_{7+}$  сначала повышается до величины 18,03% масс., а дальнейшее увеличение мольной доли до 0,24 приводит к снижению выхода продуктов  $C_{7+}$  до прежнего исходного значения на уровне 0–2% масс.

Необходимо отметить, что скорость образования 2-метилпентана и 2,2-диметилбутана выше, чем 3-метилпентана и 2,3-диметилбутана, что согласуется с известными данными (таблица 1). [13,14]. Состав изомеров гексана отличается от термодинамического равновесного состава при исследованной температуре, что вероятнее всего обусловлено невысокой кислотностью ХАИЖ по сравнению с традиционным жидкими фторсодержащими кислотами [17].

На рисунке 1 представлены показатели процесса изомеризации н-гексана в зависимости от мольной доли  $CuSO_4$  в катализаторе.

Как следует из полученных данных, при мольной доле  $CuSO_4$  в катализаторе равной 0,08 моль/моль конверсия н-гексана достигает максимального значения 57% масс., выход изомеризата составляет 50% масс. Селективность образования изомеров гексана сначала снижается с 70 до 48% масс. в области кон-

**Таблица 1.** Компонентный состав продуктов изомеризации н-гексана в среде ионной жидкости в зависимости от концентрации  $CuSO_4$ .

Компонентный состав катализата, % масс.	Мольное соотношение $CuSO_4$ к ионной жидкости							
	0	0,005	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,24
Углеводороды $C_4$ , в том числе:								
Изобутан	2,73	2,17	2,83	3,18	4,49	6,02	2,96	2,65
Бутан	0	0	0,1	0,05	0,09	0,1	0,1	0
Углеводороды $C_5$ , в том числе:								
Изопентан	2,26	2,07	2,12	2,74	4,12	5,16	1,98	1,89
Н-пентан	0	0	0	0	0,10	0,10	0	0
Углеводороды $C_6$ , в том числе:								
2-метилпентан	7,16	6,52	6,49	9,05	10,45	11,06	6,25	5,93
3-метилпентан	3,37	3,11	3,48	4,82	5,43	6,12	3,58	3,44
2,2диметилбутан	2,35	2,12	2,56	3,92	5,15	6,65	3,01	2,92
2,3диметилбутан	1,39	1,73	1,86	2,32	3,75	3,71	2,12	2,13
н-гексан	80,13	81,7	80,01	64,86	56,37	43,05	78,3	79,81
Углеводороды $C_{7+}$	0,61	0,58	0,55	9,06	10,05	18,03	1,67	1,23
Итого:	100	100	100	100	100	100	100	100

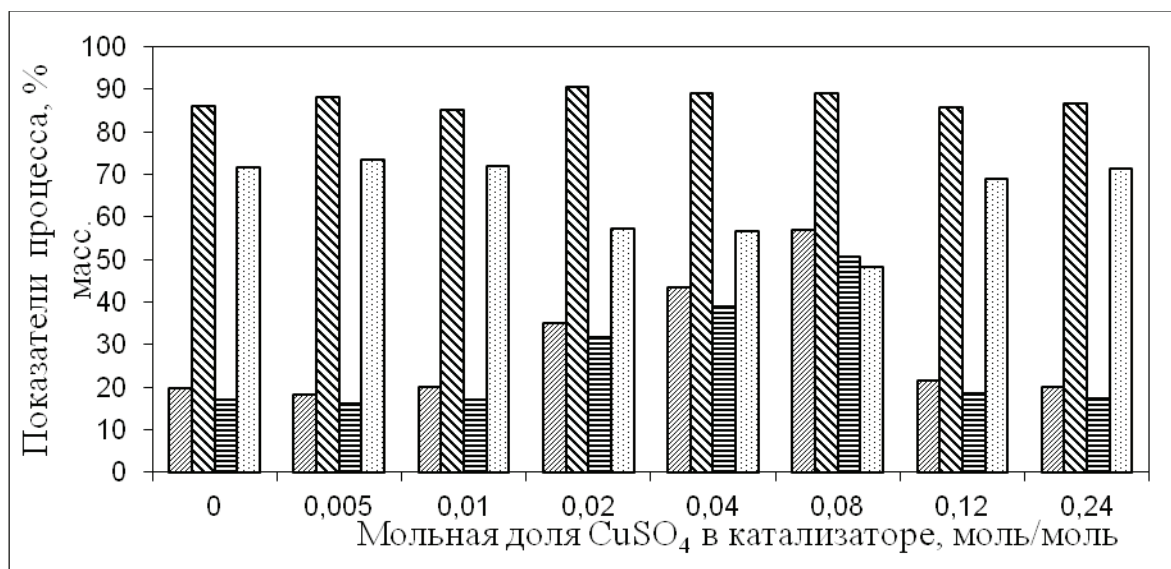
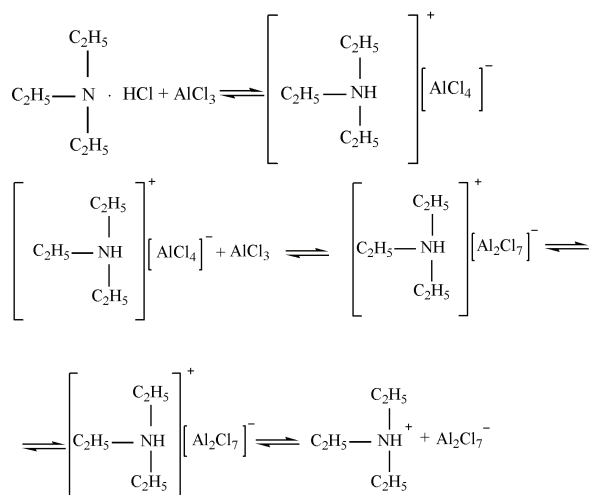
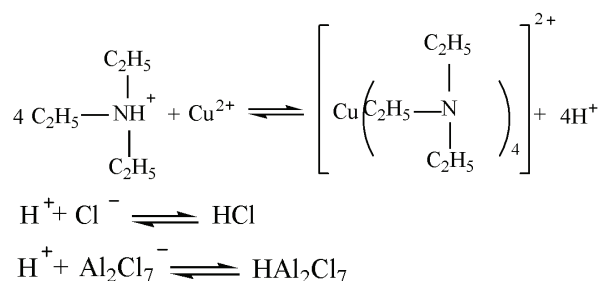


Рисунок 1. Зависимость показателей процесса изомеризации н-гексана от молярной доли добавки в ионной жидкости:  
 ▨ – конверсия; ▩ – селективность образования изокомпонентов C<sub>5+</sub>; ▤ – выход изомеризата; ▦ – селективность образования изомеров гексана

центраций добавки 0,04-0,08 моль/моль, а затем возрастает до прежнего значения 65-70% масс. Вероятнее всего это обусловлено тем, что активирующая добавка наряду с усилением скорости целевых реакции скелетной изомеризации н-гексана, способствует увеличению скорости побочных реакций крекинга и диспропорционирования. Ниже приведен возможный механизм образования активных компонентов катализатора:



Известно, что соли меди склонны к комплексообразованию с аминами и способны катализировать некоторые ионные процессы [15,16]. Учитывая тот факт, что ионные жидкости являются полярными средами, в которых твердые соли могут легко диссоциировать на соответствующие катионы и анионы, возможно образование комплекса триэтиламина с ионами меди по следующему механизму:



В связи с тем, что процесс изомеризации протекает по кислотному механизму, то образующиеся HCl и HAl<sub>2</sub>Cl<sub>7</sub>, повышая кислотность среды, способствуют увеличению скорости образования карбокатиона, участвующего в дальнейшем отщеплении гидрид-иона от н-гексана с образованием изогексана и вторичного карбокатиона, переходящего в более устойчивую третичную форму и снова участвующего в отщеплении гидрид иона от парафина, что согласуется с данными работы авторов [16].

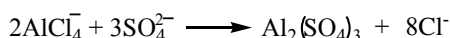
В данной работе было установлено, что при молярной доле сульфата меди в катализаторе равной 0,08 моль/моль достигаются наиболее высокие показатели процесса. Дальнейшее увеличение концентрации добавки в катализаторе приводит к снижению выхода изоалканов (таблица 1, рисунок 1). Для объяснения данного явления обратимся к механизму изомеризации н-алканов в присутствии суперкислотной ХАИЖ.

Как было отмечено ранее, в присутствии катализаторов кислотного типа изомеризация протекает по карбокатионному механизму. Ключевой стадией в реакции изомеризации н-алканов, по-видимому, является отрыв гидрид иона от алкана с образованием вторичного карбокатиона. Данная стадия



может происходить как под действием отрыва гидрид иона сильной Льюисовской кислотой  $AlCl_4^-$ ,  $Al_2Cl_7^-$ ,  $Al_3Cl_{10}^-$  (анионов, которые образуются при диссоциации ХАИЖ), так и под действием чрезвычайно реакционноспособных протонов  $H^+$ , которые могут образоваться в результате частичного гидролиза ХАИЖ [8]. В этом случае образование вторичного карбокатиона может происходить согласно данным работы авторов [5].

Вероятнее всего, при увеличении содержания  $CuSO_4$  в катализаторе избыточное количество ионов  $SO_4^{2-}$  вступает в реакцию с хлоралюминатными структурами, которые обладают повышенной Льюисовской кислотностью:



В результате данных превращений образуется сульфат алюминия, который не проявляет кислотных свойств и тяжело диссоциирует на ионы, что было показано в работе [15]. Таким образом, происходит снижение концентрации в катализаторе активных компонентов, ответственных за повышенные кислотные свойства ионной жидкости, что приводит к снижению каталитической активности.

## Выводы

Таким образом, экспериментально было показано, что при мольной доле сульфата меди равной 0,08 моль/моль выход изомеров гексана достигает максимума. Дальнейшее увеличение концентрации активирующей добавки до 0,24 моль/моль приводит к снижению глубины изомеризации до прежней величины 18-20% масс.

Установлено, что наряду с увеличением выхода продуктов скелетной изомеризации происходит более значительное усиление побочных реакций крекинга и диспропорционирования, приводящих к образованию изобутана, изопентана и высокомолекулярных углеводородов  $C_7^+$ .

Обнаружено, что в составе изомеров гексана преобладают 2-метилпентан и 2,2-диметилбутан, что согласуется с кинетическими закономерностями, однако состав изогексанов отличается от термодинамически равновесного состава при температуре 30 °С.

Необходимо проведение дальнейших исследований в области катализа суперкислотных хлоралюминатных ионных жидкостей, которые являются перспективными каталитическими средами для процессов переработки легкого углеводородного сырья с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Миримяна А.А., Вихман А.Г., Боруцкий П.Н. О повышении качества изокомпонентов для производства перспективных автобензинов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2007. № 7. С. 5-9.
- 2 Промышленный опыт среднетемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции /Смирнов В.К.[и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. 2005. № 2. С. 14-17.
- 3 Бабиков, А.Ф., Шакун А.Ф., Федоров М.Л. Новый цеолитный катализатор изомеризации легких бензиновых фракций СИ-1 // Нефтепереработка и нефтехимия. 1996. № 10. С. 17.
- 4 Покровский С.В. Новые зарубежные технологии нефтепереработки // Нефтегазовая вертикаль. 2002. № 7. С. 68.
- 5 Бурсиан И.Р., Орлов Д.С., Шакун А.И. Катализ на сверхкислотах. М.: НИИТЭНефтехим. 1979. 64 с.
- 6 Ионные жидкости в каталитических превращениях олефинов и диенов / Насилов Ф.А.[и др.]// Нефтехимия. 2007. Т. 47. № 5. С. 31-37.
- 7 Weyerhausen, B., Lehmann K. Industrial application of ionic liquids as performance additives// Green. Chem. – 2005. – № 7. – P. 15.

- 8 Zhao D., Wu M., Kou Y., Min E. Ionic liquids: application in catalysis // Catal. Today. 2002. V. 74. P. 157-164.
- 9 Olivier-Bourbigou H., Magna L. Ionic liquid: perspectives for organic and catalytic reactions // J. Mol.Catal. 2002. V. 182. P. 419-430.
- 10 Zhang, J., Huang C., Chen B. Isobutane/2-butene alkylation catalyzed by chloroaluminate ionic liquids in the presence of aromatic additives // Journal of Catalysis. 2007. V. 38. P. 261-268.
- 11 Zhang, J., Huang C., Chen B. Alkylation of isobutane and butane using chloroaluminate imidazolium ionic liquid as catalyst: Effect of organosulfur compound additive // Korean J. Chem. Eng. 2008. V. 25. P. 982-986.
- 12 Olivier H. Homogenous and two-phase dimerization of olefins catalyzed by tungsten complexes.// J. Mol. Catal. 1999. V. 148. P. 43-48.
- 13 Кустов Л.М., Васина Т.В., Ксенофонтов В.А. Ионные жидкости как каталитические среды // Рос. хим. журн. 2004. Т. 48. № 6. С. 13-31.
- 14 Zhang R., Meng X.H. Isomerization n-pentane catalyzed by acidic chloroaluminate ionic liquids // Ind. Eng. Chem. Res. 2008. V. 47. P. 8205-8209.
- 15 Meyer C., Wasserscheid P. Effective n-octane isomerization under exceptionally mild conditions using a novel class of

superacidic ionic liquids // Chem. Com. 2010. V. 46. P. 7625-7627.

16 Зинуров Д.Р., Ликумович Р.Р. Скелетная изомеризация n-пентана в присутствии ионной жидкости на основе  $AlCl_3$  // Нефтехимия 2010. Т.50. № 5. С. 386-390.

17 Ибрагимов А.А., Мешалкин В.П., Рахимов М.Н. Влияние разветвленных алканов на процесс изомеризации n-гексана в среде суперкислотной ионной жидкости // Известия вузов: Химия и химическая технология. 2013. Т. 56. № 10. С.31-32.

18 Зависимости между кислотными и каталитическими свойствами ионных жидкостей в реакции изомеризации n-гексана / Ибрагимов А.А. [и др.] // Нефтегазовое дело. 2012. № 2. С. 12-16 (дата обращения 20.04.2014).

## REFERENCES

- 1 Mirimanyan A.A., Vihman A.G., Borutsky P.N. O povyshenii kachestva izokomponentov dlya proizvodstva perspektivnyh avtobenzinov // Neftpererabotka i neftehimiya. 2007. № 7. S. 5-9. [in Russian].
- 2 Promyshlennii opyt srednetemperaturnoi izomerizatsii legkoi benzinovoi fraktsii/ Smirnov V.K. [i dr.] // Neftpererabotka i neftehimiya. 2005. № 2. S. 14-17. [in Russian].

3 Babikov A.F., Shakun A.F., Fedorov M.N. Novyi tseolinitnyi katalizator izomerizatsii legkih benzinovykh fraktsii SI-I // Neftepererabotka i neftekhimiya. 1996. № 10. S. 17. [in Russian].

4 Pokrovskii S.V. Novie zarubezhnye tehnologii neftepererabotki // Neftegazovaya vertikal'. 2002. №7. S.68. [in Russian].

5 Bursian I.R., Orlov D.S., Shakun A. I. Kataliz na sverhkislotoh. M.: NIITENeftehim. 1979. 64 s. [in Russian].

6 Nassirov F.A., Novruzova F.M., Aslanbeyli A. M., Azizov A.G. Ionnye zhidkosti v kataliticheskikh prevrasheniyyah olefinov I dienov // Neftekhimiya. 2007. T. 47. № 5. S. 31-37. [in Russian].

7 Weyerhausen, B., Lehmann K. Industrial application of ionic liquids as performance additives // Green. Chem. – 2005. – № 7. – P. 15. [in English].

8 Zhao D., Wu M., Kou Y., Min E. Ionic liquids: application in catalysis // Catal. Today. 2002. V. 74. P. 157-164. [in English].

9 Olivier-Bourbigou H., Magna L. Ionic liquids: application in catalysis // J. Mol.Catal. 2002. V. 182. P. 419-430. [in English].

10 Zhang, J., Huang C., Chen B. Isobutane/2-butene alkylation catalyzed by chloroaluminate ionic liquids in the presence of aromatic additives // Journal of Catalysis. 2007. V. 38. P. 261-268. [in English].

11 Zhang, J., Huang C., Chen B. Alkylation of isobutane and butane using chloroaluminate imidazolium ionic liquid as catalyst: Effect of organosulfur compound additive // Korean J. Chem. Eng. 2008. V. 25. P. 982-986. [in English].

12 Olivier H. Homogenous and two-phase dimerization of olefins catalyzed by tungsten complexes. // J. Mol. Catal. 1999. V. 148. P. 43-48. [in English].

13 Kustov L. M., Vasina T.V., Ksenofontov V. A. Ionnye zhidkosti kak

kataliticheskie sredy // Ros. him. jurn. 2004. T. 48 № 6. S. 13-31. [in Russian].

14 Zhang R., Meng X.H. Isomerization n-pentane catalyzed by acidic chloroaluminate ionic liquids // Ind. Eng. Chem. Res. 2008. V. 47. P. 8205-8209. [in English].

15 Meyer C., Wasserscheid P. Effective n-octane isomerization under exceptionally mild conditions using a novel class of superacidic ionic liquids // Chem. Com. 2010. V. 46. P. 7625-7627. [in English].

16 Zinurov D.R., Liakumovich R.R. Skeletnaya izomerizatsiya n-pentana v prisutstvii ionnoi zhidkosti na osnove  $AlCl_3$  // Neftekhimiya. 2010. T. 50. № 5. S. 386-390. [in Russian].

17 Ibragimov A.A., Meshalkin V.P., Rakhimov M.N. Vliyaniye razvetvlennykh alkanov na protsess izomerizatsii n-geksana v srede superkislотноi ionnoi zhidkosti // Izvestiya vuzov: Himiya i himicheskaya tehnologiya. 2013. T. 56. № 10. S. 108-112. [in Russian].

18 Ibragimov A.A., Shiryazdanov R.R., Davletshin A.R., Rakhimov M.N., Baulin O.A. Zavisimosti mezhdru kislотноimi i kataliticheskimi svoystvami ionnykh zhidkosteii v reaktsii izomerizatsii n-geksana // Neftegazovoe delo 2012. №2. S. 12-16 (data obrasheniya 20.04.2014) [in Russian].

*Ибрагимов А.А., канд. техн. наук, ассистент кафедры «Нефтехимия и химическая технология», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*  
A.A. Ibragimov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant of the Chair «Petrochemical and Chemical Technology», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation  
e-mail: petrol1988@list.ru

*Хакимов В. Н., магистрант, группа МТС01-13-01, кафедра «Нефтехимия и химическая технология», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*

*V.N. Hakimov, Master Student of MTS01-13-01 Group of the Chair «Petrochemical and Chemical Technology», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation*

*Обидова А.К., магистрант, группа МТС01-13-01, кафедра «Нефтехимия и химическая технология», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*  
A.K. Obidova, Master Student of MTS01-13-01 Group of the Chair «Petrochemical and Chemical Technology», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation  
e-mail: obidova\_amina@mail.ru

*Имаева Л.Р., бакалавр, группа БТС-11-01, кафедра «Нефтехимия и химическая технология», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*  
L.R. Itayeva, Bachelor Student of BTS-11-01 Group of the Chair «Petrochemical and Chemical Technology», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

*Кочкина Е.В., бакалавр, группа БТС-11-01, кафедра «Нефтехимия и химическая технология», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*  
E.V. Kochkina, bachelor student of BTS-11-01 Group of the Chair «Petrochemical and Chemical Technology», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

*Рахимов М.Н., д-р техн. наук, профессор кафедры «Нефтехимия и химическая технология», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация*  
M.N. Rakhimov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Petrochemical and Chemical Technology», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation  
e-mail: rmni@mail.ru