

КИСЛОТНО-КАТАЛИЗИРУЕМОЕ ТРЕТ-БУТИЛИРОВАНИЕ 3-НИТРО-5R-1,2,4-ТРИАЗОЛОВ МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВЫМ ЭФИРОМ

Суханов Г.Т., Филиппова Ю.В., Суханова А.Г., Диго Т.А., Босов К.К., Истошина В.А., Крупнова И.А., Пивоварова Е.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск

Аннотация: Изучено кислотнo-катализируемое *трет*-бутилирование 3-нитро-5R-1,2,4-триазолов с метил-*трет*-бутиловым эфиром. Установлено, что процесс протекает региоселективно по положению N1 нитротриазольного гетероцикла. В результате синтезирован ряд N1-замещенных *трет*-бутил-3-нитро-5R-1,2,4-триазолов с различными заместителями при циклическом атоме углерода. Наличие электронодонорных алкильных заместителей в нитротриазольном цикле приводит к существенному снижению выхода продуктов их *трет*-бутилирования.

Ключевые слова: 3-нитро-5R-1,2,4-триазолы, 1-*трет*-бутил-3-нитро-5R-1,2,4-триазолы

ВВЕДЕНИЕ

N-алкил-3-нитро-1,2,4-триазолы представляют значительный интерес в различных областях человеческой деятельности. Благодаря биологической активности они находят применение в качестве лекарственных средств в медицине, а также как гербициды и фунгициды в сельском хозяйстве [1, 2]. Ввиду значительной термической устойчивости, положительной энтальпии образования и высокого содержания азота нитропроизводные 1,2,4-триазолов рассматриваются как компоненты энергоемких и газогенерирующих составов [3, 4].

Традиционным методом синтеза таких соединений является реакция алкилирования, позволяющая целенаправленно проводить модификации их структуры электрофильными агентами. Вместе с тем, функционализация амбидентных гетероциклов с тремя реакционными центрами сопряжена с нарушением селективности процесса, и в зависимости от кислотно-основных свойств реакционной среды и электрофильного реагента, как правило, приводит к смеси всех трех региоизомерных продуктов N-замещения [5-7]. Единственным случаем селективного алкилирования производных 3-нитро-1,2,4-триазолов остается взаимодействие 3-нитро-1,2,4-триазола с *трет*-бутиловым спиртом в среде концентрированной серной кислоты [8].

В настоящей работе в качестве *трет*-бутилирующего агента использовали метил-*трет*-бутиловый эфир (МТБЭ). Выбор реагента был основан на его широкой доступности. МТБЭ является одним из важнейших представителей простых эфиров и применяется в производстве высокооктановых бензинов, при этом выступает как нетоксичный, но менее теплотворный высокооктановый компонент и как ок-

сигенат, способствующий более полному сгоранию топлива и предотвращению коррозии металлов. Мировое потребление МТБЭ находится на уровне 20-22 млн. т. в год.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью настоящей работы является изучение закономерностей реакции *трет*-бутилирования 3-нитро-5R-1,2,4-триазолов метил-*трет*-бутиловым эфиром в среде сильных кислот и определение влияния типа заместителя при циклическом атоме углерода C5 в субстрате на их реакционную способность.

Показано, что 3-нитро-5R-1,2,4-триазолы **1-3** под действием МТБЭ в среде концентрированной серной кислоты, также, как и в случае использования *трет*-бутилового спирта [8], претерпевают селективное алкилирование, приводя к образованию единственных продуктов N1-замещения – 1-*трет*-бутил-3-нитро-1,2,4-триазолов **4-6**.

Региоселективное течение реакции алкилирования 3-нитро-5R-1,2,4-триазолов в концентрированной серной кислоте объясняется специфичностью свойств высоко-кислотной среды и термодинамическим контролем процессов алкилирования.

В присутствие сильных кислот МТБЭ сначала протонируется, а затем расщепляется, образуя третичный карбокатион и метанол (схема 1).

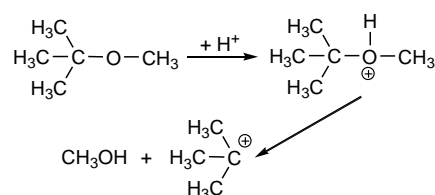


Схема 1

Последний в зависимости от условий реакции может превращаться в олефин разветвленного строения или третичный спирт.

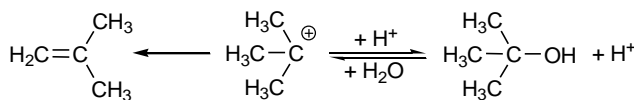


Схема 2

Алкилирование по атому азота может наблюдаться лишь для азотсодержащих соединений, которые в сильно кислых средах существуют в кинетически заметных концентрациях в виде свободных оснований, способных к взаимодействию с возникающими в этих условиях из спиртов или олефинов карбокатионами. Это возможно, по крайней мере, в двух случаях – N-содержащее соединение должно быть довольно слабым основанием или иметь несколько нуклеофильных центров, тогда протонирование одного из них не подавляет полностью нуклеофильных свойств соединения, обусловленных наличием неподеленных пар электронов на других атомах.

В среде концентрированной серной кислоты субстраты **1-3** полностью протонируются, приводя к образованию термодинамически устойчивых катионов 1,4-дигидро-3-нитро-5R-1,2,4-триазолия **a-c** [9]. В образующихся катионах **a-c** единственным доступным для атаки электрофильной частицей остается положение N2 цикла.

Атака протонированных форм азота карбокатионом, генерируемым в серной кислоте из спирта или олефина, на первый взгляд невозможна и противоречит одному из фундаментальных законов природы – закону Кулона. В 1990-ые годы работами белорусских исследователей на основании кинетических и экспериментальных данных доказана возможность реализации такого процесса на примере производных тетразола [10-13].

В результате атаки катионов нитротриазолия **a-c** трет-бутилкатионом по неподеленной паре электронов атома азота N2 и выбросом протона, вероятно, из соседнего с трет-бутильным заместителем положения происходит образование промежуточных катионов 2-трет-бутил-4Н-3-нитро-5R-1,2,4-триазолия **d-f**. Последние депротонируются при уменьшении кислотности среды (разбавлении реакционной массы водой) и трансформируются в N2-замещенные триазолы **g-i**.

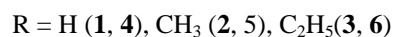
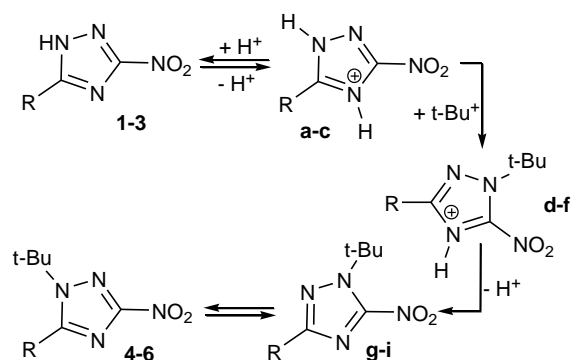


Схема 3

Селективное образование соединений **4-6** может быть объяснено изомеризацией первоначально образующихся N2-замещенных триазолов **g-i** в N1-изомеры **4-6**. Подобная изомеризация характерна для N2-алкилзамещенных нитротриазолов со вторичными типами заместителей (*i*-Pr, *s*-Bu, *cyclo*-C₆H₁₁, *t*-Bu) [8]. Движущей силой такой изомеризации является большая термодинамическая стабильность 1-алкил-3-нитро-1,2,4-триазолов по сравнению с изомерными 2-алкил- и 4-алкилпроизводными [8]. Этот факт также подтверждают недавние результаты исследования трет-бутирования 3-нитро-1,2,4-триазола в присутствии каталитических количеств серной кислоты, где в начальный период в продуктах реакции наряду с ожидаемым 1-трет-бутил-3-нитро-1,2,4-триазолом зафиксирован продукт замещения по атому азота N2 гетероцикла [14]. Увеличение времени реакции приводит к образованию только 1-трет-бутил-3-нитро-1,2,4-триазола.

Результаты алкилирования триазолов **1-3** под действием МТБЭ показали, что, основность субстратов **1-3** оказывает существенное влияние на их реакционную способность в реакции с МТБЭ. Введение алкильных заместителей в нитротриазольный цикл приводит к снижению основности субстратов **2, 3**. рK_a субстрата **1** составляет 6,05, нитротриазолов **2, 3** – 6,75 и 6,65, соответственно [15]. В аналогичных условиях выход продукта алкилирования субстрата **1** достигает 95,7 %. Тогда как выход продуктов алкилирования **5, 6** существенно снижается до 23,2 % и 1,6 %, соответственно.

Дальнейшее увеличение времени реакции трет-бутирования с 3 ч до 9 ч при использовании нитротриазола **2** не привело к желаемому повышению выхода продукта замещения **5**. Вероятно, это связано с тем, что алкилирующий реагент расходуется не по основному направлению, а превращается в изобутилен и продукты его полимеризации (схема 2).

Табл. 1. Температура плавления и спектральные характеристики 1-трет-бутил-3-нитро-1,2,4-триазолов 4-6

Шифр	R	Тпл, °С	ЯМР ^1H , acetone- d_6 , м.д.		ЯМР ^{13}C (acetone- d_6), м.д.	ИК-спектр, λ , cm^{-1}
			C5-R	t-Bu		
4	H	96	8.76 (лит. 8.95 [5])	1.73 (лит. 1.60 [5])	28.30 (C-(CH_3) ₃) 61.10 (C-(CH_3) ₃) 143.23 (C5-H) 162.57 (C-NO ₂)	–
5	CH ₃	87	2.73	1.74	15.18 (C5- CH_3) 28.58 (C-(CH_3) ₃) 62.39 (C-(CH_3) ₃) 154.28 (C5- CH_3) 159.78 (C-NO ₂)	1547.3, 1312.4, 845.8 (NO ₂)
6	C ₂ H ₅	70	1.39 (CH ₂ - CH_3) 3.10 (CH ₂ - CH_3)	1.75	11.23 (C5-CH ₂ - CH_3) 22.31 (C5-CH ₂ - CH_3) 28.83 (C-(CH_3) ₃) 62.40 (C-(CH_3) ₃) 154.02 (C5-CH ₂ - CH_3) 159.07 (C-NO ₂)	1547.9, 1315.9, 845.3 (NO ₂)

Структура синтезированных соединений **4-6** подтверждена результатами ИК-, ЯМР ^1H , ^{13}C -спектроскопии. В спектрах ЯМР ^1H полученных соединений регистрируются синглетные сигналы трет-бутильного заместителя в области 1,73-1,75 м.д., а также сигналы заместителя при циклическом атоме углерода C5. Кислотный C5-H протон соединения **4** фиксируется в слабопольной области спектра при 8,76 м.д., алкильные заместители, связанные с циклическими атомами углерода соединений **5, 6** – в более сильных полях при 2,73 м.д. (C5- CH_3) и 1,39 м.д. (C5-CH₂- CH_3), 3,10 м.д. (C5-CH₂- CH_3).

Спектры ЯМР ^{13}C соединений **4-6** содержат характерные сигналы эндоциклических атомов углерода нитротриазольного цикла, связанные с нитрогруппой в области 159.07-162.57 м.д., протоном (для **4**) или алкильными заместителями (для **5, 6**) – в области 143.23-154.28 м.д. Трет-бутильная группа регистрируется двумя сигналами атомов углерода при 28.30-28.83 м.д. и 61.10-62.40 м.д. Сигналы атомов углерода экзоциклических алкильных заместителей соединений **5, 6** находятся в сильнопольной части спектра: метильная C5- CH_3 – при 15.18 м.д., этильная C5-CH₂- CH_3 – при 11.23 м.д. и 22.31 м.д.

Полученные соединения имеют достаточно низкие температуры плавления (70-96 °С), что позволяет использовать их в качестве плавкой основы для создания термопластичных взрывчатых систем [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, взаимодействием 3-нитро-5R-1,2,4-триазолов с МТБЭ в средах с высокой кислотностью синтезирован ряд N1-замещенных трет-бутил-

3-нитро-5R-1,2,4-триазолов с различными заместителями при циклическом атоме углерода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Rachwal, S., A. R. Katritzky, "1,2,3-Triazoles," *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II*, vol. 5, pp.1–158.
2. Curtis, A. D. M., N. Jennings, "1,2,4-Triazoles," *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II*, vol. 5, pp.159–209.
3. Larina, L. and V. Lopyrev, *Nitroazoles: Synthesis, Structure and Applications, in Topics in Applied Chemistry*, Springer Science+Business Media. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: LLC, 2009.
4. Ostrovskii, V.A., M.S. Pevzner, T.P. Kofman, M.B. Shcherbinin and I.V. Tselinskii, "Energetic 1,2,4-Triazoles and Tetrazoles: Synthesis, Structure and Properties," *Targets in Heterocyclic Systems. Chemistry and Properties*, vol. 3, pp.467–526.
5. Middleton R. W., Monney H., Parrick J., N-Methylation of Heterocycles with Dimethylformamide Dimethyl Acetal," *Synthesis*, vol. 9, pp.740-743, Sept. 1984.
6. Holzer, W., "Spectral and structural assignments with various N-substituted 1,2,4-triazoles: Noe difference spectroscopy as a powerful tool," *Tetrahedron*, vol. 47, pp.5471-5480, July 1991.
7. Суханов, Г.Т. Реакции производных 3-нитро-1,2,4-триазола с алкилирующими агентами. 9. Получение N(1)-, N(2)- и N(4)-этил-3-нитро-5R-1,2,4-триазолов алкилированием 3-нитро-1,2,4-триазолат-анионов диэтилсульфатом / Г.Т. Суханов, Ю.В. Филиппова А.Г. Суханова // Химия гетероциклических соединений. – 2008. – № 12. – С. 1438–1444.
8. Суханова, А.Г. Реакции производных 3-нитро-1,2,4-триазола с алкилирующими агентами. 6. Алкилирование нейтрального гетероцикла спиртами в кислых средах / А.Г. Суханова, Г.В. Сакович, Г.Т. Суханов // Химия гетероциклических соединений. – 2008. – № 11. – С. 1680–1687.
9. Стандартные энтальпии образования в газовой фазе и относительные устойчивости таутомеров С-нитро-1,2,4-триазола и изомеров N-алкил-С-нитро-1,2,4-триазола: квантово-химическое исследование / О.А. Ивашкевич [и др.] // Химия гетероциклических соединений. – 2009. – № 1. – С. 83–91.
10. Koren, A.O., P.N. Gaponik and V.A. Ostrovskii, "Reactions of Azolium Cations. I. Kinetics and Mechanism of Alkylation of 5-Phenyltetrazole with Isopropyl Alcohol in Aqueous Sulfuric Acid Media," *Int. J. Chem. Kinet.*, vol. 25, pp. 1043–1051, Dec. 1993.

11. Koren, A.O., P.N. Gaponik, V.A. Ostrovskii, "Reactions of Azolium Cations. II. Regioselective N(2)-Alkylation of 5-Aryltetrazole with Isopropyl Alcohol in Sulfuric Acid Media: Effect of Electronic Properties of Aryl Substituents on the Reaction Rate," *Int. J. Chem. Kinet.*, vol. 27, pp. 919–924, Sept. 1995.

12. Корень, А.О. Простой способ N-алкилирования 5-R-тетразолов трет-бутиловым спиртом [Текст] А.О. Корень, П.Н. Гапоник // Химия гетероциклических соединений. – 1990. – № 11. – С. 1574–1575.

13. Корень, А.О. Об особенностях алкилирования тетразолов n-пропиловым и изо-бутиловым спиртами [Текст] А.О. Корень, П.Н. Гапоник // Химия гетероциклических соединений. – 1991. – № 9. – С. 1280.

14. Трет-бутилирование 3-нитро-1,2,4-триазола в присутствии каталитических количеств серной кислоты / Г.Т. Суханов [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2017. – № 4 – С. 182–184.

15. Багал, Л.И. Гетероциклические нитросоединения IV. Кислотно-основные свойства нитропроизводных 1,2,4-триазола [Текст] / Л.И. Багал, М.С. Певзнер // Химия гетероциклических соединений. – 1970. – № 4. – С.558-562.

16. Комарова, М.В. Термические свойства ВЭМ на основе нитрофуразонилфуроксана [Статья] / Высокоэнергетические и специальные материалы: демилитаризация, антитерроризм и гражданское применение: материалы XIV Международной конференции «НЕМs-2018», 3-5 сентября 2018 года / А.Г. Вакутин, Н.В. Козырев, Г.Т. Суханов, С.Г. Ильясов. Томск. гос. ун-т. – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2018. – С. 42-45.

Работа выполнена при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск)

Суханов Геннадий Тимофеевич – доктор химических наук, доцент, заведующий лабораторией химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru,

Филиппова Юлия Вадимовна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru,

Суханова Анна Геннадьевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru,

Дуго Татьяна Александровна – инженер лаборатории химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru

Босов Константин Константинович – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854) 301976, ipcet@mail.ru

Истошина Вера Анатольевна – младший научный сотрудник ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru

Крупнова Ирина Александровна – младший научный сотрудник лабораторией химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru,

Пивоварова Екатерина Валерьевна - инженер лаборатории химии и технологии высокоэнергетических азолов ИПХЭТ СО РАН, тел.(3854)301976, ipcet@mail.ru

ACID-CATALYZED *TERT*-BUTYLATION OF 3-NITRO-5R-1,2,4-TRIAZOLES WITH METHYL-*TERT*-BUTYL ETHER

G.T. Sukhanov, Yu.V. Filippova, A.G. Sukhanova, T.A. Digo, K.K. Bosov, V.A. Istoshina, I.A. Krupnova, E.V. Pivovarova

Institute for Problems of Chemical and Energetic technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk

Abstract: The acid-catalyzed *tert*-butylation of 3-nitro-5R-1,2,4-triazoles with methyl-*tert*-butyl ether was studied herein. The reaction was found to proceed in a regioselective fashion at the N1 position of the nitrotriazole heterocycle. A series of N1-substituted *tert*-butyl-3-nitro-5R-1,2,4-triazoles with different substituents on the cyclic carbon atom were consequently synthesized. The presence of electron-donating alkyl substituents in the nitrotriazole ring resulted in a reduced yield of their *tert*-butylation products.

Index terms: 3-nitro-5R-1,2,4-triazoles, 1-*tert*-butyl-3-nitro-5R-1,2,4-triazoles

REFERENCES

- Rachwal, S., A. R. Katritzky, "1,2,3-Triazoles," *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II*, vol. 5, pp.1–158.
- Curtis, A. D. M., N. Jennings, "1,2,4-Triazoles," *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II*, vol. 5, pp.159–209.
- Larina, L. and V. Lopyrev, *Nitroazoles: Synthesis, Structure and Applications*, in *Topics in Applied Chemistry*, Springer Science+Business Media. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: LLC, 2009.
- Ostrovskii, V.A., M.S. Pevzner, T.P. Kofman, M.B. Shcherbinin and I.V. Tselinskii, "Energetic 1,2,4-Triazoles and Tetrazoles: Synthesis, Structure and Properties," *Targets in Heterocyclic Systems. Chemistry and Properties*, vol. 3, pp.467–526.
- Middleton R. W., Monney H., Parrick J., N-Methylation of Heterocycles with Dimethylformamide Dimethyl Acetal," *Synthesis*, vol. 9, pp.740-743, Sept. 1984.
- Holzer, W., "Spectral and structural assignments with various N-substituted 1,2,4-triazoles: Noe difference spectroscopy as a powerful tool," *Tetrahedron*, vol. 47, pp.5471-5480, July 1991.
- Sukhanov, G.T. Reactions of 3-nitro-1,2,4-triazole derivatives with alkylating agents. 9. Synthesis of N(1)-, N(2)- and N(4)-ethyl-3-nitro-5R-1,2,4-triazoles by alkylation of 3-nitro-1,2,4-triazolate-anions with diethylsulfate / G.T. Sukhanov, Yu.V. Filippova, A.G. Sukhanova // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2008. – No. 12. – pp. 1438–1444.
- Sukhanova, A.G. reactions of 3-nitro-1,2,4-triazole derivatives with alkylating agents. 6. Alkylation of neutral heterocycles with alcohols in acidic media / A.G. Sukhanova, G.V. Sakovich, G.T. Sukhanov // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2008. – No. 11. – pp. 1680–1687.
- Standard enthalpies of formation in gase phase, and relative stabilities of C-nitro-1,2,4-triazole tautomers and N-alkyl-C-nitro-1,2,4-triazole isomers: a quantum-chemical study / O.A. Ivashkevich [et al.] // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2009. – No. 1. – pp. 83–91.
- Koren, A.O., P.N. Gaponik and V.A. Ostrovskii, "Reactions of Azolium Cations. I. Kinetics and Mechanism of Alkylation of 5-Phenyltetrazole with Isopropyl Alcohol in Aqueous Sulfuric Acid Media," *Int. J. Chem. Kinet.*, vol. 25, pp. 1043–1051, Dec. 1993.
- Koren, A.O., P.N. Gaponik, V.A. Ostrovskii, "Reactions of Azolium Cations. II. Regioselective N(2)-Alkylation of 5-Aryltetrazole with Isopropyl Alcohol in Sulfuric Acid Media: Effect of Electronic Properties of Aryl Substituents on the Reaction Rate," *Int. J. Chem. Kinet.*, vol. 27, pp. 919–924, Sept. 1995.
- Koren', A.O. A simple method for the N-alkylation of 5-R-tetrazoles with *tert*-butyl alcohol [Text] A.O. Koren', P.N. Gaponik // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 1990. – No. 11. – pp. 1574–1575.
- Koren', A.O. Revisiting the alkylation features of tetrazole with *n*-propyl and iso-butyl alcohols [Text] A.O. Koren', P.N. Gaponik // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 1991. – No. 9. – pp. 1280.
- Tert*-butylation of 3-nitro-1,2,4-triazole in the presence of catalytic amounts of sulfuric acid / G.T. Sukhanov [et al.] // *South-Siberian Scientific Bulletin*. – 2017. – No. 4 – pp. 182–184.
- Bagal, L.I. Heterocyclic nitro compounds IV. Acid-base properties of 1,2,4-triazole nitro derivatives[Text] / L.I. Bagal, M.S. Pevzner // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 1970. – No. 4. – pp.558-562.
- Komarova, M.V. Thermal behavior of HEMs based on nitrofurazonyl furoxane [Article] / *High-Energy and Specialty Materials: Demilitarization, Antiterrorism and Civil Applications: Proc. of XIV International Conference 'HEMs-2018'*, 3-5 Sep 2018 / A.G. Vakutin, N.V. Kozyrev, G.T. Sukhanov, S.G. Ilyasov. Tomsk State University – Tomsk: TSU Press, 2018. – pp. 42-45.

Sukhanov Gennady Timofeevich – Doctor of Chemical Sciences, Chief of laboratory, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Filippova Yulia Vadimovna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Scientist, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Sukhanova Anna Gennadyevna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Scientist, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Digo Tatyana Aleksandrovna – Engineer, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Bosov Konstantin Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, Research Scientist, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Istoshina Vera Anatolyevna – Junior Research Scientist, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Krupnova Irina Aleksandrovna – Junior Research Scientist, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru

Pivovarova Ekaterina Valeryevna – Engineer, Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), 659322, Russia, Altai krai, Biysk, ul. Socialisticheskaya, 1. Tel.: (3854) 30-19-76, e-mail: ipcet@mail.ru