

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Химический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
канд. хим. наук, доцент
факультет

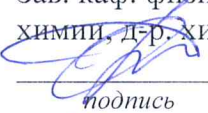
подпись В.В. Шелковников
« 15 » 06 20 22 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА СПЕЦИАЛИСТА
(ДИПЛОМНАЯ РАБОТА)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОКИСЛЕНИЯ
5-ГИДРОКСИМЕТИЛФУРФУРОЛА МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

по специальности 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия
специализация «Фундаментальная и прикладная химия»

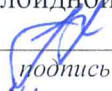
Блинов Егор Дмитриевич

Зав. каф. физической и коллоидной
химии, д-р. хим. наук, профессор

подпись О.В. Водянкина

« 15 » 06 20 22 г.

Руководитель ВКР

Ст. преподаватель каф. физической и
коллоидной химии


подпись В.П. Тугульдурова

« 14 » 06 20 22 г.

Автор работы

студент группы № 08704


подпись Е.Д. Блинов

« 17 » 06 20 22 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Химический факультет



В.В. Шелковников

подпись

« 7 » 02 2022 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы специалиста обучающемуся
Блинову Егору Дмитриевичу

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия,
направленность (профиль) «Фундаментальная и прикладная химия»

1 Тема выпускной квалификационной работы
Исследование механизма окисления

5-гидроксиметилфурфуrolа методом ЯМР-спектроскопии

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:
а) в деканат – 17.06.2022 б) в ГЭК – 21.06.2022

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Реакция окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа

Предмет исследования – Механизм реакции окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа

Цель исследования – Исследование механизма окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа
методом ЯМР-спектроскопии

Задачи:

1. Запись и расшифровка ^1H и ^{13}C ЯМР-спектров индивидуальных соединений –
реагентов, предполагаемых интермедиатов, побочных и целевых продуктов
превращения 5-гидроксиметилфурфуrolа в реакционных условиях

2. Установление основных интермедиатов, побочных и целевых продуктов окисления
5-гидроксиметилфурфуrolа путем идентификации сигналов ЯМР-спектров
реакционных смесей

3. Разработка схемы возможных превращений 5-гидроксиметилфурфуrolа в изучаемых
условиях

4. Расчет кинетических параметров реакции окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа на
основании определения текущих концентраций реагентов и продуктов реакции методом
ЯМР-спектроскопии *in situ*

Методы исследования:
ЯМР-спектроскопия

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа –
НИ ТГУ, грант РНФ № 19-73-30026

4 Краткое содержание работы

Обзор литературы: Описание различных способов окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа,
включая различные каталитические системы и условия проведения реакции, а также

иные способы превращения 5-гидроксиметилфурфурола в ценные продукты.

Экспериментальная часть: проведение кинетических экспериментов реакции окисления 5-гидроксиметилфурфурола и запись ЯМР-спектров полученных реакционных смесей во времени.

В результате исследования будет разработана схема возможных превращений

5-гидроксиметилфурфурола в изучаемых условиях, а также будут рассчитаны некоторые кинетические параметры реакции окисления 5-гидроксиметилфурфурола.

Руководитель выпускной квалификационной работы

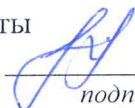
ст. преподаватель КФКХ ХФ

должность, место работы

Задание принял к исполнению

« 7 » февраля 2022

студент



подпись

Тугузова В.П.

И.О. Фамилия



подпись

Бимов Е.Д.

И.О. Фамилия

В соответствии с п 3.2 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке Научной библиотеке ТГУ» выпускная квалификационная работа студента Блинова Егор Дмитриевича на тему «Исследование механизма окисления 5-гидроксиметилфурфурола методом ЯМР–спектроскопии» размещается в репозитории с изъятием некоторых разделов в соответствии с решением правообладателя.

Руководитель ООП



В.В. Шелковников

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Литературный обзор	6
1.1 Получение и применение 5-гидроксиметилфурфуrolа	6
1.2 Свойства и применение 2,5-фурандикарбоновой кислоты.....	8
1.3 Каталитическое окисление HMF в FDCA	9
1.3.1 Окисление HMF в присутствии оснований в растворе	10
1.3.2 Окисление HMF с твердыми основаниями	14
1.3.3 Окисление HMF в водной среде без добавления основания	17
1.3.4 Окисление 5-гидроксиметилфурфуrolа с использованием альтернативных окислителей.....	20
1.3.5 Окисление HMF в безводных средах	22
1.4 Прочие реакции превращения 5-гидроксиметилфурфуrolа	24
1.4.1 Реакции Канниццаро.....	24
1.4.2 Образование малеиновой кислоты и малеинового ангидрида из 5-гидроксиметилфурфуrolа.....	25
1.4.3 Получение левулиновой и муравьиной кислот из 5-гидроксиметилфурфуrolа.....	27
1.4.4 Образование гуминов из 5-гидроксиметилфурфуrolа	29
1.5 ЯМР-спектроскопия.....	32
1.5.1 Основы ЯМР-спектроскопии	32
1.5.2 ЯМР-спектроскопия <i>in situ</i> и <i>online</i>	33
2. Экспериментальная часть.....	36
2.1 Регистрация ЯМР спектров.....	36
2.2 Методика записи ЯМР спектров индивидуальных соединений	36
2.3. Методика окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа при повышенном давлении	36
2.4 Методика окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа при атмосферном давлении	37
3. Результаты и обсуждения.....	39

3.1 Идентификация сигналов ^1H и ^{13}C ЯМР-спектров индивидуальных соединений.....	39
3.1.1 ^1H и ^{13}C спектры 5-гидроксиметилфурфуrolа.....	39
3.1.2 ^1H и ^{13}C спектры 5-гидроксиметил-2-фуранкарбоновой кислоты	41
3.1.3 ^1H и ^{13}C спектры 5-формил-2-фуранкарбоновой кислоты.....	43
3.1.4 ^1H спектр 2,5-диформилфурана	45
3.1.5 ^1H и ^{13}C спектры 2,5-фурандикарбоновой кислоты.....	46
3.2 Идентификация сигналов ^1H и ^{13}C ЯМР-спектров смесей, полученных в ходе окисления с повышенным давлением	47
3.2.1 ^1H и ^{13}C спектры реакционной смеси с 5-гидроксиметилфурфуrolом и гидроксидом натрия	48
3.2.2 ^1H и ^{13}C спектры реакционной смеси с 5-гидроксиметилфурфуrolом и 1% Pd/UiO-66	50
3.2.3 ^1H и ^{13}C спектры реакционной смеси с 5-гидроксиметилфурфуrolом, гидроксидом натрия и 1% Pd/UiO-66.....	52
3.2.4 ^1H и ^{13}C спектр реакционной смеси с 5-гидроксиметилфурфуrolом, гидроксидом натрия и 1% Pd/UiO-66 (метод HSQC)	55
3.3 Идентификация сигналов ^1H и ^{13}C ЯМР-спектров смесей, полученных в ходе окисления под атмосферным давлением	57
3.3.1 ^1H ЯМР-спектр реакционной смеси окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа с NaHCO_3 и 2% Pd/UiO-66	57
3.3.2 Кинетика окисления 5-гидроксиметилфурфуrolа при атмосферном давлении	59
3.3.3 Расчёт кинетических параметров	62
3.4 Разработка схемы превращений НМФ.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	70

АННОТАЦИЯ

к дипломной работе на тему: «Исследование механизма окисления 5-гидроксиметилфурфурола методом ЯМР спектроскопии»

Автор работы – Блинов Егор Дмитриевич, студент Томского государственного университета, Химический факультет, Кафедра физической и коллоидной химии, 5 курс, специалитет, направление подготовки – «Фундаментальная и прикладная химия».

Работа включает 76 страниц (аннотация, введение, 3 главы, заключение, список использованной литературы), 50 рисунков; количество использованных источников – 51.

Ключевые слова: ЯМР–спектроскопия, 5-гидроксиметилфурфурол, 2,5-фурандикарбоновая кислота, левулиновая кислота, механизм, кинетика.

Предмет исследования – Механизм окисления 5-гидроксиметилфурфурола.

Цель работы – Исследование механизма окисления 5-гидроксиметилфурфурола.

Задачи:

- записать и расшифровать ^1H и ^{13}C ЯМР-спектры индивидуальных соединений: реагентов, предполагаемых интермедиатов, побочных и целевых продуктов превращения 5-гидроксиметилфурфурола в реакционных условиях;
- определить основные интермедиаты, побочные и целевые продукты окисления 5-гидроксиметилфурфурола путем идентификации сигналов ЯМР-спектров реакционных смесей и сравнения их с сигналами спектров индивидуальных соединений;
- рассчитать кинетические параметры реакции окисления 5-гидроксиметилфурфурола на основании определения текущих концентраций реагентов и продуктов реакции методом ЯМР-спектроскопии *in situ*;
- разработать схему возможных превращений 5-гидроксиметилфурфурола в изучаемых условиях.

Методы исследования: ЯМР–спектроскопия.

В первой главе «Литературный обзор» представлено описание получения 5-гидроксиметилфурфурола, каталитическое окисление 5-гидроксиметилфурфурола, иные реакции с 5-гидроксиметилфурфуролом в условиях каталитического окисления, а также основы ЯМР–спектроскопии.

Во второй главе «Экспериментальная часть» описаны экспериментальные методики реакций окисления 5-гидроксиметилфурфурола при различных условиях, а также записи ЯМР–спектров.

В третьей главе «Результаты и обсуждения» описаны ЯМР–спектры индивидуальных соединений и реакционных смесей с идентификацией сигналов, кинетические расчеты и предложена схема возможных превращений 5-гидроксиметилфурфурола в изучаемых условиях.

В результате работы определен путь каталитического окисления 5-гидроксиметилфурфурола с использованием палладиевого катализатора при повышенном давлении, выяснено, что в условиях реакции может проходить раскрытие фуранового кольца, а также подсчитаны кинетические параметры реакции окисления 5-гидроксиметилфурфурола с раскрытием фуранового цикла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ ЯМР спектров реакционных смесей, полученных при повышенном давлении, показал, что образование целевого продукта FDCA возможно только в присутствии катализатора и основания, притом, что окисление протекает по маршруту $\text{HMF} \rightarrow \text{HMFCA} \rightarrow \text{FFCA} \rightarrow \text{FDCA}$.

2. Было обнаружено, что в реакционных условиях может протекать раскрытие фуранового кольца HMF, при этом образование леволиновой и муравьиной кислот возможно только в присутствии окислителя и основания, а образование гуминов возможно в реакционной смеси при повышенной температуре.

3. Для процесса раскрытия фуранового кольца HMF были рассчитаны кинетические параметры: конверсия HMF, селективность по леволиновой кислоте, а также эффективная константа скорости расходования HMF по уравнению псевдопервого порядка.

4. Предложена и обоснована схема возможных превращений HMF и его производных в изучаемых условиях в водной среде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kong, Q.-S. Conversion of 5-hydroxymethylfurfural to chemicals: A review of catalytic routes and product applications / Kong, Q.-S., Li, X.-L., Xu, H.-J., & Fu, Y. // *Fuel Processing Technology*. – 2020. – V. 209. – No. 106528.
2. Gomes, F. N. D. C. Synthesis of 5-hydroxymethylfurfural from fructose catalyzed by phosphotungstic acid / Gomes, F. N. D. C., Mendes, F. M. T., & Souza, M. M. V. M. // *Catalysis Today*. – 2017. – V. 279. – P. 296–304.
3. Shrotri, A. Catalytic Conversion of Structural Carbohydrates and Lignin to Chemicals / Shrotri, A., Kobayashi, H., & Fukuoka, A. // *Advances in Catalysis*. – 2017. – P. 59–123.
4. Suleiman Ahmed. Synthesis, Characterisation and Catalytic Applications of Novel Iron N-Heterocyclic Carbenes immobilised on Renewable Resources / Suleiman Ahmed // *University of York, Chemistry*. – 2018.
5. Cheng, F. Efficient base-free oxidation of 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-furandicarboxylic acid over copper-doped manganese oxide nanorods with tert-butanol as solvent / Cheng, F., Guo, D., Lai, J. et al. // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. – 2021.
6. Jarosław Lewkowski. Synthesis, chemistry and applications of 5-hydroxymethyl-furfural and its derivatives / Jarosław Lewkowski // *Arkivoc*. – 2001. – V. 1. – P. 17–54.
7. R. Fittig, H. Heinzelmann. Production of 2, 5-furandicarboxylic acid by the reaction of fuming hydrobromic acid with mucic acid under pressure // *Chem. Ber.* – 1876. V. 9. – P. 1198.
8. Chunlin Chen. 2,5-Furandicarboxylic acid production via catalytic oxidation of 5-hydroxymethylfurfural: Catalysts, processes and reaction mechanism / Chunlin Chen, Lingchen Wang, Bin Zhu, Zhenqiang Zhou, Soliman I. El-Hout, Jie Yang, Jian Zhang // *Journal of Energy Chemistry*. – 2021. – V. 54. – P. 528–554.
9. Chi Van Nguyen. A metal-free, high nitrogen-doped nanoporous graphitic carbon catalyst for an effective aerobic HMF-to-FDCA conversion / Chi Van

Nguyen, Yu-Te Liao, Ting-Cih Kang, Jeffrey E. Chen, Takuya Yoshikawa, Yuta Nakasaka, Takao Masuda and Kevin C.-W. Wu // *Green Chemistry*. – 2016. – V. 18. – P. 5957.

10. Sara E. Davis. On the mechanism of selective oxidation of 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-furandicarboxylic acid over supported Pt and Au catalysts / Sara E. Davis, Bhushan N. Zope and Robert J. Davis // *Green Chemistry*. – 2012. – V. 14. – P. 143.

11. Davis, S. Oxidation of 5-hydroxymethylfurfural over supported Pt, Pd and Au catalysts // Davis, S. E. [et. all] // *Catalysis Today*. – 2011. – V. 160. – P. 55–60.

12. Casanova, O. Biomass into Chemicals: Aerobic Oxidation of 5-Hydroxymethyl-2-furfural into 2,5-Furandicarboxylic Acid with Gold Nanoparticle Catalysts / Casanova, O., Iborra, S., & Corma, A. // *ChemSusChem*. – 2009. – V. 2. – P. 1138–1144.

13. Ait Rass, H. Selective Aerobic Oxidation of 5-HMF into 2,5-Furandicarboxylic Acid with Pt Catalysts Supported on TiO₂- and ZrO₂-Based Supports / Ait Rass, H., Essayem, N., & Besson, M. // *ChemSusChem*. – 2015. – V. 2015. – P. 1206–1217.

14. Liwei Bao. High-efficient Aerobic Oxidation of Biomass-derived 5-Hydroxymethylfurfural to 2,5-Furandicarboxylic Acid over Holey 2D Mn₂O₃ Nanoflakes from a Mn-based MOF / Liwei Bao, Fang-Zhou Sun, Guo-Ying Zhang, and Tong-Liang // *ChemSusChem*. – 2020. – V. 13. – P. 548–555.

15. Kai Yu. M³⁺O(–Mn⁴⁺)₂ clusters in doped MnO_x catalysts as promoted active sites for the aerobic oxidation of 5-hydroxymethylfurfural / Kai Yu [et. all] // *Catalysis Science & Technology*. – 2018. – V. 8. – P. 2299.

16. Bhushan N. Zope. Influence of Reaction Conditions on Diacid Formation During Au-Catalyzed Oxidation of Glycerol and Hydroxymethylfurfural / Bhushan N. Zope, Sara E. Davis, Robert J. Davis // *Topics in Catalysis*. – 2012. – V. 55. – P. 24–32.

17. Churchil Angel Antonyraj. Base-free oxidation of 5-hydroxymethyl-2-furfural to 2,5-furan dicarboxylic acid over basic metal oxide-supported ruthenium catalysts under aqueous conditions / Churchil Angel Antonyraj, Nhan Thanh Thien Huynh, Kyung Won Lee, Yong Jin Kim, Seunghan Shin, Jong Shik Shin And Jin Ku Cho // Journal of Chemical Sciences – 2018. – P. 130–156.
18. Xuewang Han. Base-free aerobic oxidation of 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-furandicarboxylic acid over a Pt/C–O–Mg catalyst / Xuewang Han, Liang Geng, Yong Guo, Rong Jia, Xiaohui Liu, Yongguang Zhangb and Yanqin Wang // Green Chemistry. – 2016. – 18. – P. 1597.
19. Chunmei Zhou. Functionalized Carbon Nanotubes for Biomass Conversion: The Base-Free Aerobic Oxidation of 5-Hydroxymethylfurfural to 2,5-Furandicarboxylic Acid over Platinum Supported on a Carbon Nanotube Catalyst / Chunmei Zhou, Weiping Deng, Xiaoyue Wan, Qinghong Zhang, Yanhui Yang and Ye Wang // ChemCatChem. – 2015. – V. 7. – P. 2853 – 2863.
20. Hao Chena. Atomic layer deposition of Pt nanoparticles on low surface area zirconium oxide for the efficient base-free oxidation of 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-furandicarboxylic acid / Hao Chena, Jinshan Shena, Kequan Chenb, Yong Qinc, Xiuyang Lua, Pingkai Ouyang, Jie Fu // Applied Catalysis A, General. – 2018. – V. 555. – P. 98–107.
21. Christian M. Pichler. Ruthenium Supported on High-Surface-Area Zirconia as an Efficient Catalyst for the Base-Free Oxidation of 5-Hydroxymethylfurfural to 2,5-Furandicarboxylic Acid / Christian M. Pichler, Mohammad G. Al-Shaal, Dong Gu, Hrishikesh Joshi, Wirawan Ciptonugroho and Ferdi Scheth // ChemSusChem. – 2018. – V. 11. – P. 2083 – 2090.
22. Kevin C.-W. Wu. Hydrogen Peroxide Assisted Selective Oxidation of 5-Hydroxymethylfurfural in Water under Mild Conditions / Kevin C.-W. Wu [et. all] // ChemCatChem. – 2018. – V. 10. – 361–365.
23. Shuang Li. Selective oxidation of 5-hydroxymethylfurfural with H₂O₂ catalyzed by a molybdenum complex / Shuang Li, Kunmei Su, Zhenhuan Li and Bowen Cheng // Green Chemistry. – 2015.

24. Wei Gong. Platinum deposited on cerium coordination polymer for catalytic oxidation of hydroxymethylfurfural producing 2,5-furandicarboxylic acid / Wei Gong, Kunkun Zheng and Peijun Ji // *RCS Advances*. – 2017. – V. 7. – 34776–34782.

25. Feng Cheng. Efficient base-free oxidation of 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-furandicarboxylic acid over copper-doped manganese oxide nanorods with tert-butanol as solvent / Feng Cheng [et. all] // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. – 2021.

26. Jinhua Lai. Selective oxidation of 5-hydroxymethylfurfural into 2,5-diformylfuran over VPO catalysts under atmospheric pressure / Jinhua Lai [et. all] // *RCS Advances*. – 2019. – V. 9. – 14242–14246.

27. Francesco Nocito. Selective Oxidation of 5-(Hydroxymethyl)furfural to DFF Using Water as Solvent and Oxygen as Oxidant with Earth-Crust-Abundant Mixed Oxides / Francesco Nocito, Maria Ventura, Michele Aresta and Angela Dibenedetto // *ACS Omega*. – 2018. – V. 3. – P. 18724–18729.

28. Mei Hong. Bio-based green solvent for metal-free aerobic oxidation of 5- hydroxymethylfurfural to 2,5-diformylfural over nitric acid-modified starch / Mei Hong [et. all] // *Catalysis Communications*. – 2021. – V. 149. – P. 106196.

29. Sowmiah Subbiah. Direct transformation of 5-hydroxymethylfurfural to the building blocks 2,5-dihydroxymethylfurfural (DHMF) and 5-hydroxymethyl furanoic acid (HMFA) via Cannizzaro reaction / Sowmiah Subbiah [et al.] // *Green Chemistry*. – 2013.

30. Nikolay V. Tarabanko. Synthesis of a Polyconjugated Polymer by Aldol Condensation of 2,5-Diformylfuran and Acetone / Nikolay V. Tarabanko [et al.] // *Journal of Siberian Federal University*. – 2017. – V. 4. – P. 452–464.

31. Lan J. Transformation of 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) to Maleic Anhydride by Aerobic Oxidation with Heteropolyacid Catalysts / Lan J., Lin J., Chen Z., & Yin G. // *ACS Catalysis*. – 2015. – V. 5. – P. 2035–2041.

32. Xiukai Li. The conversion of 5-hydroxymethyl furfural (HMF) to maleic anhydride with vanadium-based heterogeneous catalysts / Xiukai Li and Yugen Zhang // *Green Chemistry*. – 2016. – V. 18. – P. 643
33. Xiukai Li. Highly efficient formic acid-mediated oxidation of renewable furfural to maleic acid with H₂O₂ / Xiukai Li, Ben Ho, Diane S. W. Lim and Yugen Zhang // *Green Chemistry*. – 2017. – V. 19. – P. 914.
34. Viswas Ghorpade. Industrial applications for levulinic acid / Viswas Ghorpade and Milford Hanna // *University of Nebraska*. – 1997.
35. Hitler Louis. A Review on the conversion of levulinic acid and its esters to various useful chemicals / Hitler Louis [et al.] // *AIMS Energy*. – 2019. – V. 7. – P. 165–185.
36. Anna Maria Raspolli Galletti. New Frontiers in the Catalytic Synthesis of Levulinic Acid: From Sugars to Raw and Waste Biomass as Starting Feedstock / Claudia Antonetti, Domenico Licursi, Sara Fulignati, Giorgio Valentini and Anna Maria Raspolli Galletti // *Catalysts*. – 2016. – V. 6. – P. 196.
37. Jing Zhang. An in Situ NMR Study of the Mechanism for the Catalytic Conversion of Fructose to 5-Hydroxymethylfurfural and then to Levulinic Acid Using ¹³C Labeled D-Fructose / Jing Zhang and Eric Weitz // *ACS Catalysis*. – 2012. – V. 2. – P. 1211–1218.
38. Jaroslav Horvat. Mechanism of levulinic acid formation / Jaroslav Horvat, Branimir Klaid, Biserka Metelko and Vitomir Sunjid // *Tetrahedron Letters*. – 1985. – V. 26. – No 17. – P. 2111–2114.
39. Liu S. High-Yield and High-Efficiency Conversion of HMF to Levulinic Acid in a Green and Facile Catalytic Process by a Dual-Function Brønsted-Lewis Acid HScCl₄ Catalyst / Liu S. [et al.] // *ACS Omega*. – 2021. – V. 6. – No. 24. – P. 15940–15947.
40. George Tsilomelekis. Molecular structure, morphology and growth mechanisms and rates of 5-hydroxymethyl furfural (HMF) derived humins / George Tsilomelekis [et al.] // *Green Chemistry*. – 2016. – V. 18. – P. 1983.

41. Patil, S. K. R. Formation and Growth of Humins via Aldol Addition and Condensation during Acid-Catalyzed Conversion of 5-Hydroxymethylfurfural / Patil, S. K. R., & Lund, C. R. F. // *Energy & Fuels*. – 2011. – V. 25. – No 10. – P. 4745–4755.

42. Jung, D. Kinetic study on the impact of acidity and acid concentration on the formation of 5-hydroxymethylfurfural (HMF), humins, and levulinic acid in the hydrothermal conversion of fructose / Jung, D., Körner, P., & Kruse, A. // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2019.

43. Zhanwei Xu. Mechanistic understanding of humin formation in the conversion of glucose and fructose to 5-hydroxymethylfurfural in [BMIM]Cl ionic liquid / Zhanwei Xu [et al.] // *RSC Advances*. – 2020. – V. 10. – P. 34732–34737.

44. Sandip K. Singh. Ionic liquids synthesis and applications: An overview / Sandip K. Singh, Anthony W. Savoy // *Journal of Molecular Liquids*. – 2020. – V. 297. – P. 112038.

45. Swapnil A. Dharaskar. Synthesis, Characterization and Application of 1-Butyl-3 Methylimidazolium Chloride as Green Material for Extractive Desulfurization of Liquid Fuel / Swapnil A. Dharaskar [et. al] // *The Scientific World Journal*. – 2013.

46. Jaroslav Horvat. Mechanism of Levulinic Acid Formation in Acid Catalysed Hydrolysis of 2-Hydroxymethylfurane and 5-Hydroxymethylfurane-2-carhaldehyde / Jaroslav Horvat, Branimir Kuuc, Biserka Metelko and Vitomir Sunjic // *Croatica Chemica Acta*. – 1986. – V. 59. – No. 2. – P. 429–438.

47. Казицина А.А. Применение Ик– УФ– И ЯМР–спектроскопии в органической химии / Казицина А.А., Куплетская Н.Б. // М.: Высшая школа. 1971. – С. 263.

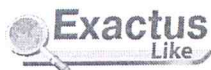
48. Воловенко Ю. М. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса для химиков / Ю. М. Воловенко, В. Г. Карцев, И. В. Комаров и др. – М.: Научное Партнерство, 2011. – 704 с.

49. Kohki Ebitani. Metal-free oxidative synthesis of succinic acid from biomass-derived furan compounds using a solid acid catalyst with hydrogen

peroxide / Kohki Ebitani, Hemant Choudhary and Shun Nishimura // Applied Catalysis A: General. – 2013. – V. 458. – P. 55– 62.

50. Общая фармакопейная статья «Спектроскопия ядерного магнитного резонанса». ОФС 42-0046-07 «Государственная фармакопея Российской Федерации. XII издание. Том I».

51. О.В. Водянкина, В.П. Тугульдурова, Н.В. Дорофеева, С.Я. Александрова. Формальная кинетика. Томск: Томский государственный университет, 2017. 138 с.



Поиск заимствований в научных текстах^β



Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран...

Выбрать файл...

Укажите год публикации: 2022

Выберите коллекции

- | | | |
|---|--|--|
| ☒ Все | ☒ Википедия | ☒ Российские журналы |
| ☒ Рефераты | ☒ Российские конференции | ☒ Энциклопедии |
| ☒ Авторефераты | ☒ Иностранные журналы | ☒ Англоязычная википедия |
| ☒ Иностранные конференции | | |
| ☒ PubMed | | |

Анализировать

Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст

Год публикации: 2022.

Оценка оригинальности документа - 99.48%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 0.52%

Просмотр заимствований в документе

Время выполнения: 11 с.

Документы из базы



Источники заимствования

В списке литературы

Источники
Заимствования

1. Установление структуры N2-[1-(1-адамантил)алкил]нафтилен-1,2-диаминов и продуктов их бензоилирования

Авторы: Frolenko, Timofey A. ; Фроленко, Т.А. ; Semichenko, Elena S. ; Семиченко, Е.С. ; Kondrasenko, Alexander A. ; Кондрасенко, А.А. ; Gavrilova, Natalia A. ; Гаарилова, Н.А. ; Suboch, George A. ; Субоч, Г.А..

Год публикации: 2013. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/9761/1/Frolenko.pdf>

Показать заимствования (4)

0.52%

Значимые оригинальные фрагменты

Библиографические ссылки

Искать в Интернете

Дополнительно

ФУ (Грунбергс ВП)