

21-0361

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Зеленая Химия

БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

*Перезтерификация в
сверхкритических флюидных условиях*

21-06361



Под редакцией проф. Гумерова Ф.М

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования “Казанский национальный
исследовательский технологический университет”

**БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО.
ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИЯ
В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ
ФЛЮИДНЫХ УСЛОВИЯХ**

МОНОГРАФИЯ

Казань – 2017

УДК 662.756.3

ББК 31.353

Б63

Печатается по решению редакционно-издательского совета
ФГБОУ ВО “Казанский национальный исследовательский
технологический университет”

Под редакцией: профессора, доктора технических наук, главного
научного сотрудника, профессора, заслуженного деятеля науки РТ,
заведующего кафедрой “Теоретические основы теплотехники”
ФГБОУ ВО КНИТУ **Фарида Мухамедовича Гумерова**

Рецензенты:

Фарахов М.И. – директор Инженерно-внедренческого центра
“Инжехим”, д.т.н., проф. каф. ПАХТ ФГБОУ ВО КНИТУ
Теляков Э.Ш. – д.т.н., заслуженный деятель науки РТ, проф. каф.
МАХП ФГБОУ ВО КНИТУ

Авторы Гумеров Ф.М., Усманов Р.А., Мазанов С.В.,
монографии: Габитова А.Р., Мифтахова Л.Х., Габитов Р.Р.,
Бикташ Ш.А., Газизов Р.А., Габитов Ф.Р.,
Зарипов З.И., Курдюков А.И., Абдулагатов И.М.,
Варфоломеев С.Д., Вольева В.Б., Габитов И.Р.,
Шамсетдинов Ф.Н., Билалов Т.Р., Никитин В.Г.,
Каралин Э.А., Мингулов И.Г., Шаповалов Ю.А.

Верстка и подготовка оригинал-макета: А.И. Курдюков, С.В. Мазанов

ISBN 978-5-9690-0366-8

© Гумеров Ф.М. 2017

© ФГБОУ ВО “Казанский национальный
исследовательский технологический
университет”, 2017

© Изд-во Академии наук РТ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	страницы
Содержание	3
Введение	8
Зеленая химия и ее двенадцать принципов	14
Глава 1. Анализ существующих методов получения биодизельного топлива	16
1.1. Биодизельное топливо как альтернативный источник энергии	16
1.2. Основное сырье, используемое при получении биодизельного топлива	18
1.3. Мировые стандарты и основные характеристики биодизельного топлива	26
1.4. Традиционный метод синтеза биодизельного топлива с использованием гомогенных катализаторов	28
1.5. Модификации традиционного метода получения биодизельного топлива	35
1.5.1. Получение биодизельного топлива с использованием гетерогенной каталитической реакции и СВЧ-нагрева ...	35
1.5.2. Получение биодизельного топлива с использованием липидов мезопелагических рыб и жиросодержащих рыбных отходов	36
1.5.3. Получение биодизельного топлива с использованием отработанного соевого масла и гашеной извести	38
1.6. Пиролиз растительных масел и животных жиров	39
1.7. Синтез биодизельного топлива в суб- и сверхкритических флюидных условиях реакционной смеси	40
Глава 2. Квантово-химическое моделирование реакции переэтерификации, осуществляемой в традиционных и сверхкритических флюидных условиях	49
2.1. Цели и методы квантово-химического моделирования	49
2.2. Литературные сведения о квантово-химических описаниях в газофазном приближении механизмов реакций переэтерификации триглицеридов, катализируемых основаниями	57
2.3. Литературные сведения о квантово-химических описаниях в газофазном приближении механизмов кислотно катализируемых реакций переэтерификации триглицеридов	63

2.4. Квантово-химическое моделирование катализируемых жидкофазных реакции переэтерификации триглицеридов с учетом влияния растворителя	68
2.5. Результаты квантово-химического исследования реакции переэтерификации триглицеридов в условиях сверхкритической флюидной фазы	75
2.6. Исследование влияния температуры и давления на процесс переэтерификации триглицеридов жирных кислот	84
2.7. Исследование промотированных элементарных актов	89
2.8. Термохимический анализ промотированных элементарных актов	93

Глава 3. Свойства термодинамических систем, участвующих в процессе получения биодизельного топлива в суб- и сверхкритических флюидных условиях реакционной смеси

3.1. Свойства термодинамических систем как база для моделирования и оптимизации процесса получения биодизельного топлива	99
3.2. Экспериментальная часть. Материалы, аппаратура и методы исследования	100
3.2.1. Материалы	100
3.2.2. Методы, экспериментальные установки и методики исследования термических свойств	102
3.2.3. Метод, экспериментальная установка и методика исследования растворимости веществ в СК-СО ₂	109
3.2.4. Метод, экспериментальная установка и методика исследования фазового равновесия в системе «жидкость – пар»	113
3.2.5. Метод, экспериментальная установка и методика исследования теплопроводности	115
3.2.6. Методы, экспериментальные установки и методики исследования коэффициентов динамической и кинематической вязкости	119
3.3. Результаты и обсуждение	125
3.3.1. Равновесные свойства масел и смесей «спирт/масло» различной химической природы и состава	125
3.3.2. Растворимость рабочих сред в СК-СО ₂	145
3.3.3. Теплопроводность масел и смесей «спирт/масло» различной химической природы и состава	154

3.3.4. Динамическая и кинематическая вязкости масел и продукта реакции переэтерификации	159
Глава 4. Получение биодизельного топлива в суб- и сверхкритических флюидных условиях реакционной смеси на установках периодического и непрерывного действия	170
4.1. СК-СО ₂ -экстракционное извлечение компонентов микроводорослей	170
4.2. Установка периодического действия для осуществления некаталитической переэтерификации рапсового масла в СКФ условиях реакционной смеси	173
4.3. Некаталитическая переэтерификация рапсового масла в СКФ условиях реакционной смеси на установке периодического действия	180
4.4. Эмульгирование реакционной смеси как один из путей ускорения реакции переэтерификации	187
4.5. Проточная установка для осуществления некаталитической переэтерификации рапсового масла в СКФ условиях реакционной смеси	201
4.6. Методика разделения продукта реакции переэтерификации, получаемого на проточной установке	209
4.7. Определение состава продукта реакции переэтерификации, получаемого на проточной установке	215
4.8. Некаталитическая переэтерификации рапсового масла в СКФ условиях реакционной смеси на проточной установке	219
4.9. «Вязкостный» метод определения содержания биодизельного топлива в продукте реакции переэтерификации	226
Глава 5. Гетерогенный катализ при получении биодизельного топлива в суб- и сверхкритических флюидных условиях реакционной смеси	230
5.1. Гетерогенный катализ, как один из важных методов повышения эффективности процесса получения биодизельного топлива	230
5.2. Способы приготовления гетерогенных катализаторов, используемых в процессе получения биодизельного топлива	233

5.3. Проточная установка для осуществления каталитической переэтерификации рапсового масла в СКФ условиях реакционной смеси	238
5.4. Некаталитическая и каталитическая переэтерификации рапсового масла в СБКФ и СКФ условиях реакционной смеси на проточной установке	243
5.5. Термическое разложение продукта реакции	248
5.6. Оптимальная природа гетерогенного катализатора	253
Глава 6. Моделирование процесса получения биодизельного топлива в сверхкритических флюидных условиях реакционной смеси	255
6.1. Кинетика реакции переэтерификации, осуществленной на проточной установке в СКФ условиях реакционной смеси	255
6.2. Моделирование теплофизических свойств термодинамических систем, участвующих в процессе получения биодизельного топлива	259
6.3. Проектирование технологического процесса получения биодизельного топлива для промышленной реализации	269
Заключение	277
Список литературы	279
Авторефераты диссертаций, защищенных членами авторского коллектива по тематике процесса получения биодизельного топлива	304
Основные публикации авторского коллектива по тематике процесса получения биодизельного топлива	310
Приложение	345