

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
от 07 декабря 2016 г. (протокол № 6)

**Защита диссертации Кузьминой Юлии Сергеевны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
«Экспериментальное исследование процесса низкотемпературного  
пиролиза (торрефикации) гранулированного биотоплива»**

Специальность 05.14.01 – энергетические системы и комплексы

Москва – 2016

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
Протокол № 6 от 07 декабря 2016 г.

Диссертационный совет Д 002.110.03 утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.02.2013 г. № 75/нк в составе 25 человек. На заседании присутствуют 20 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 11 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

**Председатель** – председатель диссертационного совета Д 002.110.03  
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Вараксин А.Ю.

**Ученый секретарь** – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03  
д.т.н. Директор Л.Б.

1	Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.	01.02.05	Присутствует
2	Батенин В.М.	чл.-корр. РАН, д.т.н.	05.14.01	Присутствует
3	Директор Л.Б.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
4	Алхасов А.Б.	д.т.н., проф.	05.14.01	Отсутствует
5	Аминов Р.З.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
6	Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
7	Битюрин В.А.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
8	Воробьев В.С.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
9	Зайченко В.М.	д.т.н., с.н.с.	05.14.01	Присутствует
10	Зейгарник В.А.	д.т.н., с.н.с.	05.14.01	Присутствует
11	Климов А.И.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
12	Кобзев Г.А.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
13	Красильников А.В.	д.т.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
14	Леонов С.Б.	д.ф.-м.н.	01.02.05	Отсутствует
15	Масленников В.М.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
16	Медин С.А.	д.т.н., проф.	01.02.05	Присутствует
17	Недоспасов А.В.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
18	Поляков А.Ф.	д.т.н., проф.	01.02.05	Присутствует
19	Попель О.С.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
20	Пятницкий Л.Н.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
21	Седлов А.С.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
22	Синкевич О.А.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
23	Томаров Г.В.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
24	Чиннов В.Ф.	д.ф.-м.н., проф.	05.14.01	Присутствует
25	Шугаев Ф.В.	д.ф.-м.н., доцент	01.02.05	Присутствует

## ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории 2.1.3.1 – распределенной генерации Научно-исследовательского центра физико-технических проблем энергетики (НИЦ-2 ФТПЭ) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Кузьминой Юлии Сергеевны** на тему «Экспериментальное исследование процесса низкотемпературного пиролиза (торрефикации) гранулированного биотоплива». Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы впервые. Диссертация выполнена в лаборатории 2.1.3.1 – распределенной генерации НИЦ-2 ФТПЭ ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, [jiht.ru](http://jiht.ru)).

### **Научный руководитель:**

**Зайченко Виктор Михайлович** – д.т.н., старший научный сотрудник, заведующий отделом 2.1.3 – распределенных энергетических систем Научно-исследовательского центра физико-технических проблем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

### **Официальные оппоненты:**

**Косивцов Юрий Юрьевич** – гражданин РФ, д.т.н., профессор кафедры "Биотехнология и химия" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет» (ФГБОУ ВО «ТвГТУ»; Россия, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д.22).

**Мясоедова Вера Васильевна** – гражданка РФ, д.х.н., профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук» (ИХФ РАН; Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.4).

### **Ведущая организация:**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»** (НИУ «МЭИ»; Россия, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.т.н., профессор Косивцов Ю.Ю. и д.х.н., профессор Мясоедова В.В., научный руководитель Кузьминой Ю.С. д.т.н. Зайченко В.М.

## СТЕНОГРАММА

### Председатель

Добрый день, уважаемые члены совета и все присутствующие. Мы начинаем заседание нашего диссертационного совета. Сегодня у нас на повестке дня защита диссертации Кузьминой Юлии Сергеевны, тема диссертации «Экспериментальное исследование процесса низкотемпературного пиролиза (торрефикации) гранулированного биотоплива». Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы впервые. Я должен предоставить слово ученому секретарю совета Леониду Бенциановичу для оглашения содержания всех представленных соискателем материалов.

### Ученый секретарь

*(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).*

### Председатель

Уважаемые члены совета есть ли вопросы к Леониду Бенциановичу? Вопросов нет. Юлия Сергеевна, Вам слово, просьба придерживаться регламента – 20 минут.

### Кузьмина Ю.С.

*Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Кузьминой Ю.С. прилагается).*

### Председатель

Спасибо, Юлия Сергеевна. Уважаемые члены диссертационного совета, переходим к вопросам. У кого есть вопросы? Прошу, Анатолий Иванович.

### Климов А.И.

Вы упомянули, что вся Европа работает на эту тему. Сейчас мы выслушали Ваше сообщение, Ваш подход. В этом направлении как движется вся Европа?

### Кузьмина Ю.С.

В большинстве случаев на Западе используют реакторы с нагревом через стенку, но они менее эффективны. Также процесс торрефикации реализуют для исходного сырья – щепы, опилок. В данной работе мы рассматриваем процесс торрефикации именно исходных гранул (пеллет).

### Климов А.И.

Они этим путем не идут?

### Кузьмина Ю.С.

Да, они не идут по этому пути. Очень мало представлено работ, связанных с торрефикацией конечных пеллет. В основном сначала проводят процесс торрефикации, а затем проводят пеллетизацию (получают гранулы).

### Председатель

Еще пожалуйста вопросы. Да, Олег Сергеевич.

### Попель О.С.

Мы прослушали прекрасный доклад, но тем не менее возникает вопрос. Работа представляет из себя довольно серьезное не только исследование (теоретическое), но и колоссальные затраты, которые необходимо было осуществить для создания

экспериментальной установки. Могли бы Вы ясно и четко выделить Ваш личный вклад в эту работу и отметить участие других сотрудников в этой работе. Что лично Вами сделано, конкретно чем Вы занимались.

**Кузьмина Ю.С.**

Мной, совместно с сотрудниками нашей лаборатории, разработана схема когенерационной установки. Я лично разрабатывала конструкторскую документацию на все эти установки, выполняла контроль на стадии производства. Кроме того, мною были разработаны программы и методики проведения экспериментов, я непосредственно принимала участие в их проведении. Конечно огромная благодарность моим коллегам, инженерам, которые мне помогали.

**Председатель**

Спасибо. Вячеслав Михайлович.

**Батенин В.М.**

У меня два вопроса. У Вас очень часто в тексте и в Вашем докладе встречается такое словосочетание «исследованы зависимости потери массы, теплоты сгорания и теплосодержания пеллет». Слово «потеря» ко всем относится? Нет увеличения теплоты сгорания? Вот это первый вопрос.

А второй вопрос. Он относится не к энергетической части, а к части, связанной с охраной окружающей среды. Скажите, ведь если используются продукты сгорания из двигателя, работающего на чистом топливе, это одно. Но если Вы используете блоки торрефикации где-то, где используются попутные нефтяные газы для ДВС и так далее, не получается ли так, что возможное содержание серы в продуктах, питающих двигатель переносится в торрефикационные пеллеты. Это второй вопрос.

**Кузьмина Ю.С.**

По поводу первого вопроса я прошу прощения, возможно я сделала ошибки в процессе доклада.

По поводу второго вопроса. У нас проводятся эксперименты с двигателем, работающем на природном газе. Также проводились эксперименты по возможности улавливания серы угольным или фильтром из торрефицированных пеллет. Эксперименты показали, что только при температуре выше 500 градусов в угольном фильтре или в случае фильтра из торрефицированных пеллет возможно оседание серы на пеллетах. То есть при температурах ниже этого значения она не абсорбируется.

**Батенин В.М.**

Спасибо.

**Попель О.С.**

Откуда вообще сера там берется?

**Кузьмина Ю.С.**

Это были проведены дополнительные исследования.

**Батенин В.М.**

Это если использовать попутный газ для ДВС.

**Председатель**

Григорий Валентинович, пожалуйста.

**Томаров Г.В.**

У меня такой вопрос. Можно вернуть на слайд с выводами. По выводам. Всякие выводы таких исследовательских работ украшает конкретика. Здесь я не видел, конечно, если углубиться в автореферат, то цифры можно найти. Как Вы оцениваете какие цифровые показатели можно было бы вынести как важные показатели по результатам Вашей работы, с одной стороны. С другой стороны, как эти параметры, показатели, граничные условия можно сравнить с теми работами, которые в этой области уже сделаны, сопоставить.

**Кузьмина Ю.С.**

Я думаю с точки зрения численных показателей это, во-первых, увеличение теплоты сгорания, по сравнению с исходным сырьем и снижение предела гигроскопичности, т.к. эти два параметра важны именно для потребителя. Так как потребителю нужно топливо с повышенным теплосодержанием. А предел гигроскопичности влияет на условия хранения. Эти два показателя. Во-вторых, производительность. Я думаю это тоже важный параметр применительно к опытно-промышленной установке. Если мы рассматриваем небольшие линии по гранулированию, то их производительность составляет как раз 200 кг/ч на небольших лесоперерабатывающих предприятиях. Что касается комплексов, которые разрабатываются в Европе, то их производительность составляет от 1 тонны в час. Мы пока на пути к этим показателям.

**Председатель**

Спасибо. Владимир Альбертович.

**Зейгарник В.А.**

Когда Вы оценивали экономические показатели у Вас стоимость исходного сырья нулевая или не нулевая?

**Кузьмина Ю.С.**

Не нулевая.

**Зейгарник В.А.**

А если не нулевая, то скажите цифру или диапазон.

**Кузьмина Ю.С.**

Стоимость опилок закладывалась 2500 рублей за тонну. Так как линия по гранулированию может быть установлена на лесоперерабатывающем предприятии, то стоимость сырья будет равна 0.

**Председатель**

Олег Сергеевич.

**Попель О.С.**

Я в продолжении вопроса Григория Валентиновича. Он задал вопрос очень точный и веский. Я думаю, что будет очень правильно, ну, по крайней мере, в экспертное заключение внести эти конкретные показатели, которые были достигнуты, имеют какой-то рекордный характер, и можно сравнить с другими авторами. Их обязательно надо внести. Данные по снижению гигроскопичности, по увеличению теплоты сгорания. Эти цифры показывают, каких успехов Вы достигли и надо их внести в заключение.

**Председатель**

Виктор Михайлович.

**Масленников В.М.**

Вот вы приводите комбинат. Не очень большая часть энергии идет на торрефикацию. Соотношение мощности электрической, которую я вырабатываю, и той, что я выпускаю, они должны быть сбалансированы. Куда я дену эту энергию? На собственные нужды я вряд ли смогу использовать такое количество, т.к. дизель вырабатывает довольно много энергии. Какое здесь соотношение? И куда я деваю эту энергию, если это комбинат.

**Кузьмина Ю.С.**

Линия по гранулированию потребляет около 30 кВт.

**Масленников В.М.**

Мне нужно соотношение. Дизель вырабатывает энергию в МВт и сколько я выпускаю пеллет. Там действительно все можно на собственные нужды? Или куда-то надо девать?

**Кузьмина Ю.С.**

10% на нужды комплекса, а остальное на собственные нужды предприятия.

**Масленников В.М.**

На какие собственные нужды?

**Кузьмина Ю.С.**

На предприятие.

**Масленников В.М.**

Это соотношение сбалансировано? Или мне надо сравнивать с сетью. Кто у меня возьмет эту энергию?

**Кузьмина Ю.С.**

В большинстве случаев лесобрабатывающее предприятие имеет большие установленные мощности и им требуется эта электроэнергия.

**Масленников В.М.**

То есть надо указать, что есть потребители на ту электроэнергию, которая вырабатывается, потому что собственные нужды составляют не очень большую часть. И вторая вещь. Вот стоимость пеллет по сравнению с ископаемым топливом, например, с углем, какое соотношение?

**Кузьмина Ю.С.**

Стоимость торрефицированных пеллет будет выше в 1,5 раза, по оценке. Но здесь преимущество заключается в замене угля и переходе на местное топливо. Не привозной уголь, а использование местных ресурсов.

**Масленников В.М.**

Поскольку обычно уголь в котельных в пылеобразном состоянии, значит пеллеты тоже мелятся?

**Кузьмина Ю.С.**

Торрефицированные пеллеты размалываются в пыль по той же технологии и на том же оборудовании, что и уголь.

**Масленников В.М.**

Удельный вес угля меньше, и соответствующие транспортные расходы тоже. Я не понимаю, почему это лучше?

**Кузьмина Ю.С.**

При использовании местного топлива транспортные расходы значительно снижаются. Одно дело везти уголь издалека, а другое, когда рядом деревообрабатывающее предприятие, где лежат опилки и они никому не нужны.

**Попель О.С.**

Виктор Михайлович, здесь не идет речь о переводе всей энергетики на пеллеты. Вот есть зеленые города и есть предприятия. Здесь речь не о крупной энергетике.

**Зайченко В.М.**

Вот есть 5000 км до угля и 2 км до пеллет.

**Председатель**

Спасибо. Да, пожалуйста, Рашид Зарифович.

**Аминов Р.З.**

Юлия Сергеевна, мы прослушали очень интересное Ваше сообщение. Но тем не менее, я хотел бы Вам задать вот какой вопрос. Вы рассматриваете продукты сгорания как бескислородную среду, но в то же время поршневые двигатели всегда имеют коэффициент избытка воздуха больше единицы и, больше того, избыток воздуха зависит от мощности, развиваемой двигателем. Проводились ли замеры состава кислорода и как они могут повлиять на Ваши результаты?

**Кузьмина Ю.С.**

Двигатель в процессе эксперимента работал при коэффициенте избытка воздуха равным единица.

**Аминов Р.З.**

Вы измеряли кислород?

**Кузьмина Ю.С.**

Да, мы обязательно измеряли кислород, потому что были выполнены эксперименты и при достижении кислорода 5% происходило возгорание пеллет при 250 °С. Для нас критично наличие кислорода в продуктах сгорания.

**Аминов Р.З.**

А в промышленных условиях можно поддерживать стехиометрическое соотношение?

**Кузьмина Ю.С.**

Да, можно, при этом незначительно снижается мощность. То есть в нашем эксперименте установленная мощность 200 кВт, при работе на стехиометрии у нас было 155 кВт.

**Аминов Р.З.**

Будет недожог при стехиометрии?

**Кузьмина Ю.С.**

Нет. Двигатель может работать при стехиометрии, я уточняла этот вопрос. При

увеличении альфы у нас увеличивается мощность.

**Аминов Р.З.**

И второй вопрос у меня. Вы нигде не встречали химическую формулу древесины? И как она трансформируется в процессе пиролиза?

**Кузьмина Ю.С.**

В процессе низкотемпературного пиролиза у нас идет разложение гемицеллюлозы и частичное разложение целлюлозы. Но в моей работе эти исследования не представлены.

**Председатель**

Пожалуйста, еще вопросы? Если вопросов нет, то предлагаю двигаться дальше по повестке. Слово предоставляется научному руководителю Зайченко Виктору Михайловичу.

**Зайченко В.М.**

То, что Юлия Сергеевна из себя представляет можно понять из того как она докладывала. У нас были большие проблемы привыкнуть к материалу диссертации и Юлия Сергеевна блестяще справилась с этим. Здесь сидит много людей из нашей лаборатории, у нас много установок и процессов, у нас большая работа. И когда нужно что-то начертить, что-то помочь, разработать какую-то программу, и не только по этой работе, все приходило к Юлии Сергеевне. Она выполняла огромный объем для многих людей. Работоспособность и умение быстро ориентироваться, быстро схватить, разложить по полочкам у этого человека находятся на очень высоком уровне.

Очень рад, что это большая работа проделана. Мы очень благодарны Юлии Сергеевне за ту роль, которую она играла не только в этой работе, а во всех других, которые у нас проводились.

**Председатель**

Спасибо, Виктор Михайлович. Может быть у кого-то есть вопросы к Виктору Михайловичу? Вопросов нет, тогда разрешите предоставить слово ученому секретарю, Леониду Бенциановичу, для оглашения заключения организации, где выполнялась диссертация (*ОИВТ РАН*), отзывов ведущей организации и отзывов на автореферат диссертации, которые поступили в совет.

**Ученый секретарь**

Заключение **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук**. По итогам обсуждения на межотдельском семинаре принято следующее заключение. В заключении отмечены основные положения диссертации, отмечена актуальность работы и личный вклад автора. Все результаты, включенные в диссертацию, получены автором лично или при его определяющем участии. Работа Кузьминой Ю.С. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. Диссертация Кузьминой Юлии Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы в Диссертационном совете Д 002.110.03, ОИВТ РАН. Заключение принято на заседании секции НИЦ-2 ФТПЭ ОИВТ РАН. Заключение утверждено заместителем директора ОИВТ РАН доцентом, к.т.н. Гавриковым А.В.

**Ведущая организация Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»**. В отзыве отмечается актуальность темы диссертационной работы, далее достаточно подробно представлена структура и

содержание диссертации. Я позволю себе зачитать последний пункт. Научная новизна и практическая значимость полученных автором результатов не вызывают сомнений. Автором впервые получены данные о торрефикации гранулированного биотоплива продуктами сгорания газопоршневой энергоустановки. Показана возможность создания технологии торрефикации с высокой энергетической эффективностью. В процессе выполнения работы автором были проведены исследования с целью получения набора данных о торрефицированных пеллетах при различных режимах процесса торрефикации. Разработан и испытан энерготехнологический комплекс. Выводы, представленные в заключении, являются обоснованными и отражают основные результаты проведенного исследования. Исследования выполнены с использованием современных методов и оборудования.

Замечания по работе:

1. Следовало бы провести более детальный анализ влияния параметров исходного сырья на состав конечного продукта после торрефикации. Как свидетельствуют данные других авторов, это влияние очень велико.

2. При расчете энергетической и экономической эффективности процесса торрефикации значительное влияние оказывают энергетические затраты, связанные с очисткой отходящих газов процесса торрефикации. К сожалению, анализу процесса очистки в работе уделено относительно мало внимания.

3. При расчете газогенератора на различных видах топлива влажность щепы и торфа, рассматриваемых как альтернативное сырье для процесса газификации, представляется завышенной, что влияет на оценку эффективности процесса.

Таким образом, диссертационная работа Кузьминой Ю.С. по поставленным задачам, уровню их решения и научной новизне полностью соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Кузьмина Юлия Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Диссертационная работа была заслушана на расширенном семинаре кафедры Инженерной теплофизики (ИТФ) института тепловой и атомной энергетики НИУ «МЭИ». Отзыв подготовлен профессором, д.т.н. Яговым В.В., зав. кафедры ИТФ, к.ф.-м.н. Герасимовым Д.Н и доцентом кафедры ИТФ, к.т.н. Глазковым В.В. Отзыв утвержден проректором по научной работе, д.т.н., проф. Драгуновым В.К.

**Отзывы на автореферат.** Всего поступило 7 отзывов. Все они положительные. Я зачитаю только замечания, и, если они будут повторяться, я не буду их зачитывать.

**(Первый отзыв)** Отзыв из «Курчатовского института» составлен **к.т.н. Готовцевым Павлом Михайловичем.**

- В автореферате не сказано, почему были выбраны температуры 230, 250 и 270 °С для проведения торрефикации.

- Желательно было бы в автореферате представить основные уравнения математической модели.

**(Второй отзыв)** Отзыв из МГТУ им. имени Н.Э. Баумана, кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки» составлен **к.т.н. Бурцевым Сергеем Алексеевичем.**

- К сожалению отраженные в автореферате исследования были выполнены только для пеллет, полученных из отходов хвойных пород деревьев, в то время как проблема гигроскопичности наиболее критична для пеллет изготовленных из рыхлых материалов (например, соломы).

- Из анализа данных, представленных на рис. 3 сложно сделать вывод о том, что торрефикация увеличивает теплоту сгорания, т.к. данные разных авторов дают разные значения и дополнительно требуют нормализации по какому-то параметру (например, по составу пеллет).

- Из материалов, представленных в автореферате не ясно, как продолжительность процесса торрефикации влияет на изменение свойств пеллет (в эксперименте (рис. 4, 5)

время – 30 мин., при испытаниях по схеме рис. 6 – 40 мин, а в предложенной на рис. 11 схеме – 1 час).

**(Третий отзыв)** Отзыв «Нижегородского государственного технического университета» составили д.т.н., доцент **Соснина Елена Николаевна** и к.т.н. **Шалухо Андрей Владимирович**.

- В автореферате следовало бы отметить отечественных и зарубежных ученых, занимающихся вопросами низкотемпературного пиролиза биомассы, дать краткую характеристику полученных ими научно-технических результатов.

**(Четвертый отзыв)** Отзыв из ОАО «Ростовтеплоэлектропроект» составлен к.т.н. **Чернявским Адольфом Александровичем**.

- При экономическом анализе, представленном в четвертой главе диссертационной работы, следовало бы, помимо приведенных значений простых сроков окупаемости затрат, дать также и значения дисконтированных сроков полного возврата инвестиций, поскольку деньги теряют свою стоимость с течением времени.

**(Пятый отзыв)** Отзыв составил генеральный директор по инновациям ООО «Солар системс» к.т.н. **Симонов Владимир Михайлович**.

- Не представлено подробное описание проведения испытаний типовой секции реактора торрефикации.

**(Шестой отзыв)** Отзыв «Тамбовского государственного технического университета» составлен д.т.н., профессором **Жуковым Николаем Павловичем**.

- Из текста автореферата не ясно, будут ли использоваться горячие газообразные продукты пиролиза в качестве возобновляемых энергетических ресурсов (блок утилизации) с целью уменьшения энергозатрат на проведение самого процесса торрефикации.

**(Седьмой отзыв)** Отзыв составлен сотрудником ОИВТ РАН д.т.н., профессором **Барановым Николаем Николаевичем**, замечание уже было.

### **Председатель**

Юлия Сергеевна, пожалуйста, ответьте на замечания.

### **Кузьмина Ю.С.**

Замечания ведущей организации.

1. В рамках выполнения работы были использованы древесные пеллеты стандарта Enplus, которые наиболее распространены на рынке. При этом исследования других пеллет (соломенных, из лузги подсолнечника, шелухи риса) показали тенденцию к улучшению свойств с увеличением температуры.

2. Очистка пиролизных газов действительно является значительной проблемой. Для очистки в основном используется либо дожигание, либо конденсация с дальнейшей утилизацией. Сейчас для утилизации пиролизных газов используется дожигатель. Разработка методов очистки – это тема дальнейших исследований.

3. В расчетах использовалась рабочая влажность щепы и торфа, соответствующая плохим условиям хранения под открытым небом.

Отзывы на автореферат.

Отзыв **Готовцева Павла Михайловича**.

1. Сам диапазон от 200 до 300 является стандартным для процесса торрефикации, а конкретные цифры выбраны из-за наибольшего количества данных в литературе.

2. Из-за ограниченного объема автореферата в нем не представлены основные уравнения, однако в диссертации они присутствуют.

Замечания **Бурцева Сергея Алексеевича**.

1. В рамках этой работы были представлены исследования только древесных гранул. Однако в лаборатории выполняются также и исследования других видов топлив, в т. ч. соломы. А гигроскопичность важна для топлив из древесины также, как и для соломы.

2. На рисунке представлен крупный масштаб, однако при уменьшении масштаба становится видна тенденция к увеличению теплоты сгорания.

3. Время 30 минут принято как оптимальное. Из-за разных габаритов реакторов потери были выше, поэтому испытания секции длились 40 минут. А в условиях на схеме на рис. 11 указано, что время пребывания в реакторе составляет 1 час. При этом в зоне торрефикации пеллеты пребывают в течение 30 минут, что аналогично лабораторным испытаниям.

Замечание **Нижегородского технического университета**. В автореферате я сравниваю свои результаты с данными зарубежных разработок. В диссертации приведен полный обзор существующих разработок как отечественных, так и зарубежных.

Отзыв **Чернявского Адольфа Александровича**. Согласна с замечанием, однако для предварительной оценки эффективности достаточно расчета простого срока окупаемости.

Замечание **Симонова Владимира Михайловича**. Из-за ограниченного объема автореферата в нем не представлены описание эксперимента, но однако в диссертации оно присутствует.

Отзыв **Тамбовского технического университета**. Ответ на замечание я уже говорила при ответе на замечание ведущей организации.

### **Председатель**

Спасибо, может у кого-то есть вопросы? Тогда разрешите перейти к выступлению официальных оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору технических наук, профессору Косивцову Юрию Юрьевичу, Тверской государственной технической университет. Пожалуйста, Юрий Юрьевич.

### **Косивцов Ю.Ю.**

Уважаемые коллеги, позвольте вас поблагодарить за приглашение на столь представительный совет в качестве оппонента. Что касается работы Юлии Сергеевны, то работа безусловно является очень актуальной. Потому что очень много исследовательских групп в настоящее время пытаются решить проблему пиролиза, в том числе пиролиза биомассы. Если несколько лет назад еще говорили о том, что нефть скоро закончится и очень важно развивать биоэнергетику, то в настоящее время так уже не говорят. Но тем не менее, есть очень важный экологический аспект: это баланс  $\text{CO}_2$ . Потому что если мы сжигаем каменный уголь, то считается, что мы выбрасываем  $\text{CO}_2$ . Если мы сжигаем древесные пеллеты, то не считается, что мы выбрасываем  $\text{CO}_2$ . И второе, конечно, это отсутствие серы в выбросах, т.к. серы нет в биомассе растительного происхождения.

Что касается проблемы пиролиза, то в зависимости от того какая температура, получают различные продукты. Автор рассказывает о температуре ниже 300 °C. Это самая низкая температура пиролиза, при которой происходит потеря кислородсодержащих компонентов и влаги. При этом пеллеты приобретают свойство гидрофобности, что очень важно с практической точки зрения. Такие пеллеты лучше хранятся, складироваться и являются более технологичными. С этой точки зрения работа актуальна и имеет высокую практическую значимость, потому что, я уверен, она найдет свое применение и в промышленности, что подтверждает акт внедрения.

Что касается научной новизны работы, то здесь все хорошо. Автор впервые исследует торрефикацию уже готовых пеллет, в отличие от других научных групп, которые пытаются торрефицировать опилки, щепу, то есть необработанную материал. Подход, который предлагает диссертант Юлия Сергеевна, имеет преимущество, которое заключается в том, что формирование пеллет из торрефицированной биомассы требует других конструкций пресса и других давлений, т.к. биомасса хуже прессуется. А предложенный подход позволяет упростить схему и добиться хороших результатов.

Что касается структуры, объема диссертации, то диссертация выполнена по классической схеме и содержит 4 главы. Первая глава – это литературный обзор, вторая

глава – это эксперименты, третья глава – это промышленное применение и четвертая глава – это экономика. Вся диссертация написана хорошим языком, легко читается, работа хорошая, мне она очень понравилась. Работа является законченной. Но как к любой работе, к работе есть ряд замечаний. Я их зачитаю.

**(Первое замечание)** В работе не приведены данные исследования торрефицированных пеллет на прочность. Если мы говорим о технологии, то необходимо посмотреть эксплуатационные свойства пеллет. Вопрос какова механическая прочность пеллет и будут ли они крошиться, изнашиваться в процессе транспортировки.

**(Второе замечание)** На странице 48 автор отмечает, что “Для проведения исследований использовались пеллеты диаметром 8 мм и длиной от 10 до 15 мм...”. Возникает вопрос о выборе геометрических параметров пеллет, и о том, как их изменение влияет на конечный техничеcких результат процесса?

**(Третье замечание)** На странице 48 указывает, что время обработки составляет до 1 ч, в связи с чем также возникает вопрос о необходимости столь длительного времени обработки?

**(Четвертое замечание)** В диссертации говорится о проведенном ТГА анализе (стр. 57-58). Однако, в диссертации не приведены полученные дериватограммы. Также, работа не содержит результатов ДСК анализа. Почему-то не включены в работу эти результаты.

**(Пятое замечание)** Рисунок 3.2 – Секция реактора торрефикации в разрезе (стр. 69 диссертации). Какие конструктивны особенности секции предотвращают унос пеллет поперечным потоком газа из ГПУ? В докладе прозвучал ответ на это замечание.

**(Шестое замечание)** Стр. 58. «Из приведенных данных видно, что зольность пеллет уменьшилась по сравнению с необработанными пеллетами». В связи с чем возникает вопрос о том, почему произошло уменьшение зольности? Ведь зольность представлена неорганическими элементами, входящими в состав биомассы, которые при термической обработке практически не удаляются из органической матрицы, при этом вес органической матрицы уменьшается, что должно приводить к росту зольности.

**(Седьмое замечание)** Математическая модель. Почему в описании математической модели говорится о диаметре сфер (стр. 75) вместо характеристических размеров цилиндрических пеллет?

**(Восьмое замечание)** Таблица 4.8, стр. 101. Чем автор может объяснить уменьшение содержания сероводорода в составе генераторного газа, получаемого из торрефицируемых пеллет? Так же возникает вопрос о виде торфа, используемого при расчетах.

**(Девятое замечание)** На странице 102 для расчета КПД применяется формула 4.19, не учитывающая теплоту, затраченную на выработку газа, в связи с чем возникает вопрос о корректности её применения в данном случае.

В целом эти замечания не значительные, они рабочие. Замечания не сложные и диссертант сможет на них ответить. В целом диссертация является квалификационной работой и ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

#### **Председатель**

Спасибо, Юрий Юрьевич. Может быть у кого-то есть вопросы к официальному оппоненту? Если вопросов нет, то, Юлия Сергеевна, прошу ответить на замечания оппонента.

#### **Кузьмина Ю.С.**

**(Первое замечание)** Действительно, работы по изучению прочности пеллет не были проведены, но в дальнейшем мы проведем эти испытания. Однако литературные данные позволяют сделать вывод о том, что прочность пеллет аналогична данным других исследовательских групп.

**(Второе замечание)** В рамках выполнения работы были использованы древесные пеллеты диаметром 8 мм и длиной от 10 до 15 мм стандарта Enplus, которые наиболее

распространены на рынке и чаще встречаются на линиях по гранулированию. Конечно, результат процесса (время обработки) будет зависеть от геометрии пеллет и определяться процессом тепломассообмена. Но это изменение будет незначительным, так как диаметр пеллет изменяется от 6 до 8 мм.

*(Третье замечание)* В диссертации на стр. 48 указан временной диапазон до 1 часа, и есть ссылка источник. В эксперименте выдержка составляла 30 минут (как оптимальное время нахождения биомассы при температуре торрефикации).

*(Четвертое замечание)* TGA анализатор использовался для исследования влажности, зольности и выхода летучих в образцах. Эти данные количественные и не требуют представления дериватограмм. ДСК анализ в данном случае может быть применен при исследовании экзотермических реакций разложения компонентов сырья, однако это не входило в основные цели исследования. Для определения теплоты сгорания был использован калориметр.

*(Шестое замечание)* Согласна с замечанием по зольности. Это погрешность измерения, так как измерения выполнялись на оборудовании с массой образцов 30 мг. Зольность исходного образца – 0,67 %, торрефицированного – 0,48 % погрешность весов  $\pm 1$  %.

*(Седьмое замечание)* Для расчета была выбрана модель слоя пеллет с упаковкой сферами одинакового размера, эквивалентного размерам пеллет, как наиболее простая. Эквивалентный диаметр пеллет составил 12,5 мм. Экспериментальные данные подтвердили адекватность выбранной модели.

*(Восьмое замечание)* Содержание сероводорода в генераторном газе связано с отсутствием серы в исходном сырье (торрефицированной древесине). Характеристики торфа выбраны из литературных источников с примерами расчета газогенератора. Использовался верховой торф.

*(Девятое замечание)* Для расчета выбран КПД газификации. Он рассчитывался как отношение тепла газа, полученного из 1 кг топлива, к теплосодержанию 1 кг газифицируемого топлива. А в случае расчета КПД газогенератора, учитывается теплота, затраченная на выработку газа, но также и конструктивные особенности самого газогенератора. Поэтому в оценочных расчетах выполнен расчет именно КПД газификации.

На этом всё с ответами на замечания оппонента.

### **Председатель**

Спасибо, Юлия Сергеевна. Перейдем к следующему оппоненту. Слово предоставляется доктору химических наук, профессору Мясоедовой Вере Васильевне из Института химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН.

### **Мясоедова В.В.**

Глубокоуважаемые члены диссертационного совета, Алексей Юрьевич, я внимательно изучила работу соискателя Юлии Сергеевны. Должна сказать, что работа эта, несомненно, актуальна в научно-практическом плане. В научном плане по существу она вносит вклад в развитие теоретических основ создания новых биотоплив. Причем, по существу, в научном и рыночном аспекте идет активное развитие энергоэффективных биотоплив с повышенными тепловыми эффектами сгорания. Потому что и торрефикационные процессы и процессы иного порядка трансформации лигноцеллюлозных материалов в биоуголь приводят к достаточно высоким эффектам на низшую теплоту сгорания и расширяют спектр возможностей применения. По существу, в практическом отношении здесь очевидна возможность применения таких видов топлива взамен мазута, в котельных на углях, очевидна возможность применения в газификационных установках для генерации тепла и когенерации тепла и электроэнергии. Причем когенерационный процесс будет наиболее эффективным с точки зрения КПД. А совет Европы по когенерации декларирует то, что нужно проявить стремление к

наивысшем КПД процессов. Юлия Сергеевна возможно не упомянула в своей работе, но сейчас очень актуальными являются вопросы частичной замены природного газа в промышленных печах (обжиговых). Я имею ввиду печи цементных, стекольных и металлургических заводов. Эта сфера применения для топлив, может быть, смешанных, не на 100 % состоящих из торрефицированных пеллет или биоугля, возможно, с содержанием композиционных топлив, может быть более перспективна, чем замена в котельных в малой распределенной энергетике. Промышленные объемы обеспечат прорыв биотоплива. Что касается работы и полученных автором диссертационной работы Кузьминой Юлии Сергеевны количественных данных по физико-химическим свойствам. Здесь надо иметь ввиду, что практическая значимость данных, формулируется таким образом, что это элементы создания базы новых стандартов. Ведь не секрет, что стандарт ISO 17 225, который написан для твердых биотопливных изделий, имел 7 томов, в том числе том по биоуглю. Восьмой том пока наши финские коллеги только формируют и это будет том с европейскими стандартами на торрефицированные пеллеты. Такого стандарта нет в Европе, он еще не опубликован, и такого стандарта нет в России. Я думаю, что коллектив, которым руководит В.М. Зайченко, еще больше расширит свои усилия по поводу комплексного исследования физико-химических свойств таких изделий и, я думаю, это будет серьезный вклад в практическую сторону. Что касается рыночной ситуации, то серьезные аналитики утверждают, что биоугольные и торрефицированные изделия произведут революцию уже к концу 20-го года.

Научная новизна работы автором охарактеризована достаточно подробно и автор сконцентрировала свой анализ на закономерностях по изучению влияния прямого подогрева биомассы, используя в качестве теплоносителя газообразные продукты сгорания газопоршневой установки. Эти результаты легли в основу нового способа торрефикации биомассы, который защищен патентами. На основе систематического исследования взаимосвязи технических параметров и различных режимов и свойств продуктов торрефикации (значений тепловых эффектов сгорания, плотности, влажности, зольности, элементного состава, гидрофобности, выхода летучих продуктов) автором была разработана схема энерготехнологического комплекса, включающая модульный реактор, производства торрефицированного вида топлива для когенерации тепло- и электроэнергии, которые были изготовлены на промышленной площадке и апробированы в качестве типового технического модульного решения на стендах ОИВТ РАН. С этими стендами многие хотят ознакомиться, т.к. диссертация и автореферат опубликованы.

Что касается практической значимости, Юлия Сергеевна достаточно подробно описала свой опытно-промышленный когенерационный комплекс, который выполнен в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии с Минобрнауки РФ по теме «Разработка и создание экспериментального многофункционального энерготехнологического комплекса для низкотемпературного пиролиза биомассы». Она описала состав комплекса, в который входят: газопоршневая энергоустановка, теплообменный аппарат и модульный реактор торрефикации производительностью 200 кг/ч по исходным пеллетам. И в докладе она подробно рассказала, как комплекс функционирует и монтируется. Надо сказать, что такой подход и такие схемы, в принципе, могут быть тиражированы на других предприятиях.

Я не буду останавливаться на структуре работы, она классическая, оформлена она очень хорошо, тщательно выверена, есть некоторые опечатки, но я не стала на этом фиксироваться. Рисунки выполнены очень качественно, таблицы и приложения наглядно характеризуют основное содержание работы.

Во **введении** описывается актуальность работы, в научном и практическом отношении, сформулированы цели и задачи. Вот тут я скорее не к соискателю, а к направлению. Здесь скорей всего надо было бы акцентировать внимание на том, что соискатель пытается разработать технические требования, предъявляемые к топливным изделиям (защищенными патентами), применительно к использованию на установках. Потому что мне доводилось работать с биотопливными и биоугольными системами,

поскольку к ним нет технических требований, стоит и не разрабатывается нашими машиностроителями отрасль создания новых котельных, новых пиролизеров, новых обжиговых печей. То есть этот мостик очень здорово продвинул бы отечественное машиностроение.

**В первой главе** представлен литературный обзор. Литературный обзор исчерпывающий. Автор подробно рассматривает не только вопросы, непосредственно относящиеся к специальности, по которой она защищает работу, но она также рассматривает и вопросы экологической чистоты, состава газа, применения различных методов очистки, использование парогазовой смеси торрефикации. Автором подробно проанализированы сферы существующего и потенциального в перспективе применения торрефицированных пеллет. Безусловно работа квалификационная, но она с одной стороны выглядит как законченная, а с другой стороны, автор в своем литературном обзоре показывает, что этим исследованием не заканчивается круг вопросов, которые подлежат изучению и применению.

**В третьей главе** очень подробно описана принципиальная схема и математическая модель когенрационного энерготехнологического комплекса. Здесь возможна критика со стороны специалистов по отношению и к самой модели, и к конструкции. Но я, как специалист в химии и технологии спец. производств и физикохимии, обращаю все-таки внимание, что было бы очень желательно, и я это потом в замечаниях скажу, более подробно изучить комплекс физико-химических свойств этих новых изделий.

**В четвертой главе** отражены попытки автора провести экономическую оценку. Здесь уже это обсуждалось. Это и вопросы совместного сжигания с углем и вопросы сжигания в котельном оборудовании.

**В заключении** Юлия Сергеевна Кузьмина сформулировала основные выводы по работе.

Что касается опубликования в журналах из перечня ВАК, наличия патентов, тезисов докладов и презентаций этих данных на научных конференциях, то это все соответствует традиционным требованиям.

Из замечаний я упомяну то, что:

**(Первое замечание)** Юлия Сергеевна не вполне доказала преимущество своего выбора, почему она пришла к мнению не торрефицировать исходное сырье. Здесь были очень квалифицированные вопросы со стороны членов совета. По существу, идет пиролизическая обработка лигносодержащего материала. Что происходит? Полностью ли целлюлоза переходит в биоуголь, как влияет соотношение лигнина и целлюлозы на процесс пиролиза? В результате у нас получается некая смесь продуктов биоугольного происхождения и продуктов пиролиза лигнина. Вот это все, на будущее, было бы очень полезно изучать в той лаборатории, где Юлия Сергеевна будет продолжать работать.

Надо сказать, что я внимательно анализировала мировой опыт производства торрефицированных пеллет. Мне удалось побывать и на небольших установках, например, в Швейцарии (фирма Andritz), и в Австрии, и с фирмой VTT я активно взаимодействую. Они это направление продвигают конечно очень сильно. И первая ласточка, диссертационная работа в этом направлении, конечно очень важна не только для ОИВТ, но и для всей системы развития этого направления в России.

Что касается **второго замечания**, наиболее важно для меня, как оппонента, именно представление о комплексном подходе в анализе вот этих изделий, которые Юлия Сергеевна получила впервые. Надо безусловно исследовать такие моменты как ИК спектроскопию, чтобы доказать, что это чистый углеродсодержащий материал, что целлюлоза пиролизирована, что лигнин превратился или показать степень превращения. Очень важны сочетания термогравиметрического и дифференциально-сканирующего анализа. Безусловно, основополагающая величина – тепловой эффект сгорания – получена методом калориметрии. Но этот физико-химический комплекс также включает теплоту плавления золы материала. Эти данные как раз и создают технические требования к топливу, которые можно выдвигать к устройствам по сжиганию, переработке,

газификации и генерации. То есть это обязательный комплекс, который позволит и стандартизировать этот материал.

*(Третье замечание)* Не вполне подробно представлен расчет коэффициента полезного действия когенерационного комплекса для смешанных топлив. По существу, это должна быть самая яркая страница работы. Показатель теплоты сгорания (от 21 до 24 МДж/кг) и КПД (диапазон) должны быть вынесены как положения на защиту. Это количественные данные. Это работа тем и ценна, что она дает количественные ответы на эти вопросы.

Перечисленные замечания не снижают общего впечатления, безусловно, это квалифицированная работа, выполненная на высоком научно-техническом уровне, и автореферат соответствует и отражает основное содержание диссертации. Диссертация соответствует критериям по пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Кузьмина Юлия Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 - энергетические системы и комплексы.

Благодарю Вас.

### **Председатель**

Спасибо, Вера Васильевна. Вопросы, может быть?

### **Аминов Р.З.**

Вера Васильевна, мне интересно послушать Ваше мнение относительно того, известна ли сегодня науке химическая структура древесины?

### **Мясоедова В.В.**

Да, Юлия Сергеевна немножко уклончиво ответила на этот вопрос, но это не предмет ее исследований. Дело в том, что структура биомассы, структура целлюлозы, соотношение целлюлозы, лигнина, гемицеллюлоз в биомассе в зависимости от природного происхождения, в зависимости от обработки это хорошо изученная тема. Используя современные методы, в основном, прорыв произведен за последние годы. Я занимаюсь целлюлозой давно, еще с 70-х годов, когда не было таких мощных методов как ядерный магнитный резонанс на ядрах  $^{13}\text{C}$ , но уже тогда специалисты, которые использовали ИК спектроскопию, имели прекрасный инструмент. Целлюлоза имеет 30 хорошо разрешенных полос в инфракрасной области, мы можем, проанализировав любой композит, содержащий целлюлозу, сказать и сколько ее и трансформирована ли она или нет. Сейчас, когда работает совокупность методов, микроскопия и, я повторяю, ядерный магнитный резонанс на ядрах  $^{13}\text{C}$  и на ядрах азота, тут возникает полный аналитический инструмент. Эти знания опубликованы и нашими российскими учеными и лидерами из школы института физики Белорусской академии наук, очень сильная Казанская школа. Я считаю, есть очень хорошая база и ее надо использовать. Именно междисциплинарный подход, это физикохимия целлюлозы и ее производные и ваш аппарат, как энергетиков, при соединении они дадут энергетический эффект.

### **Председатель**

Спасибо большое, Вера Васильевна. Тогда слово Юлии Сергеевне. Просьба максимально лаконично ответить на прозвучавшие замечания.

### **Кузьмина Ю.С.**

*(Первое замечание)* Преимущества торрефикации готовых пеллет в сравнении с исходной биомассой мой предыдущий оппонент, Косивцов Юрий Юрьевич, уже указал.

*(Первое замечание)* С точки зрения исследований, да, возможно, нужно было увеличить их объем и добавить микроскопию, ИК спектроскопию, но в основные задачи работы эти исследования не входили.

*(Третье замечание)* По поводу КПД когенерационного комплекса была рассчитана его эффективность с учетом основных энергетических потоков. А расчеты КПД котла для смешанного топлива достаточно полно приведены в диссертации.

#### **Председатель**

Спасибо, Юлия Сергеевна. Сейчас мы имеем возможность провести дискуссию. Я призываю Вас быть максимально лаконичными. Кто хочет высказаться?

#### **Попель О.С.**

Я хотел сказать о том, что Виктор Михайлович Зайченко 4 или 5 лет тому назад приобрел очень хорошую молодую команду, пришедшую из МГТУ, и Юлия Сергеевна является частью этой команды. Я слежу за Юлией Сергеевной в течение ряда лет на разных конференциях, на которых она выступает, и мне кажется, что за эти годы обучения в аспирантуре имеет место значительный прогресс. Я призываю всех поддержать данную диссертацию, она вполне заслуживает этого.

#### **Батенин В.М.**

Мне кажется, что вопрос совершенно ясен и можно было бы и не выступать. Но я хочу сказать два слова. Знаете, мы примем заключение, где написано, что работа является законченной научно-квалификационной работой. Вот в этой формулировке есть тонкость, так как под это дело можно разные работы подать. Я говорю так, потому что на прошлой неделе я ознакомился с работой, которой научной назвать, на мой взгляд, нельзя, а квалификационной можно. Я не буду называть ни автора, ни институт. Мне кажется, что наш совет отличается тем, что мы в первую очередь обращаем внимание на слово научная, потому что, если мы или автор доказываем, что научная задача решена глубоко и обоснована, то вопрос о квалификации не стоит. Поэтому мне кажется, что сегодня мы рассматриваем в первую очередь научную работу, работу, сделанную на очень высоком уровне, и вопрос о квалификации, я повторяюсь, на мой взгляд, практически решается автоматически. Я призываю всех членов совета поддержать эту работу и проголосовать положительно. Спасибо.

#### **Председатель**

Позволю себе пару слов сказать. Мне особенно приятно вести это заседание, потому что я являюсь выпускником той кафедры, которую заканчивала Юлия Сергеевна. Эта кафедра была для меня родной и в силу последних обстоятельств она стала для меня родной в квадрате. Очень приятно, вот Вячеслав Михайлович сказал, что эта работа имеет свою отличительную особенность. Во-первых, тут проглядывается вся цепочка, начиная от научной новизны, к которой мы все привыкли. Во-вторых, – это техническая реализуемость, т.к. слово «технология» подразумевает это. Техническая сторона прекрасно и мощно присутствует в работе. В-третьих, – это экономическая целесообразность (последняя глава). Если мы говорим об энергетике, то это безусловно неотъемлемая составляющая. Поэтому вся цепочка проявляется на уровне той квалификационной работы на соискание кандидата технических наук, за которую мы сегодня будем голосовать. Виктор Михайлович – это человек, который для нашей кафедры и института известный и в чем-то святой получается. Потому что та команда, которая формируется на наших глазах, это ценное приобретение. Имея в своей команде человека с такой энергетикой, как у Юлии Сергеевны, можно заниматься только энергетикой. Все равно малая или большая. Чтобы Ваши достижения в дальнейшем были в ней большими. А если исторически, то что отличало наш институт? Его отличала направленность на большую энергетику, поэтому особенно приятно осознавать и озвучивать то, что мы видим какой объем экспериментов был произведен, и слово «опытно-промышленная установка» прозвучало. Особенно хочется подчеркнуть, что это сделано на площадке нашего родного института, таких работ сейчас не так много в

институте. Поэтому этот акцент я тоже делаю. Для меня выбора нет, я буду, безусловно, поддерживать эту работу. Призываю членов диссертационного совета сделать тоже самое. Спасибо.

Кто-то еще хочет сказать?

### **Зайченко В.М.**

Позвольте одну ремарку. Я спиной стою к оппонентам. Для меня редко бывает ощущение, что мне интересно слушать как выступают оппоненты. Сегодня я искренне благодарен оппонентам, не только за то, что они говорили, но и за тот вклад, за тот разбор, за то влияние, которое они оказали на эту работу. Искреннее, огромное спасибо Вам.

### **Председатель**

Спасибо. Теперь Юлия Сергеевна вам заключительное слово, пожалуйста.

### **Кузьмина Ю.С.**

Для меня большая честь выступать на этом совете. Я должна выразить огромную благодарность своим коллегам, без которых этой диссертации не было и большое вам спасибо.

### **Председатель**

Спасибо. Далее у нас выбор счетной комиссии для проведения тайного голосования. Есть следующее предложение. В состав счетной комиссии избрать Валерия Федоровича Чиннова (*председатель счетной комиссии*), Георгия Анатольевича Кобзева и Олега Сергеевича Попеля. Голосуем, есть ли возражения? Нет? Единогласно. (*Счётная комиссия выбирается единогласно*). Просьба не забывать, что у нас еще обсуждение проекта заключения, поэтому прошу членов совета проголосовать, затем маленький перерыв и вернуться через 5 минут. (*Проводится процедура тайного голосования*).

### **Председатель**

Уважаемые члены совета! Валерий Федорович, просьба огласить результаты голосования.

### **Чиннов В.Ф.**

Уважаемые члены ученого совета! Уважаемая Юлия Сергеевна. Уважаемые гости. Позвольте огласить результаты нашего голосования. В урне оказалось **20** бюллетеней из **20** розданных. Результаты голосования:

**за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.**

### **Председатель**

Сначала надо утвердить протокол голосования. Кто за, чтобы утвердить протокол? Кто против? Воздержавшихся нет? (*Протокол счетной комиссии утвержден единогласно*).

Мы поздравляем Юлию Сергеевну с блестящей защитой.

Переходим к обсуждению проекта заключения. Есть замечания, пожелания? (*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*). Есть предложение с учетом всех замечаний принять за основу проект заключения и проголосовать. Кто за? Спасибо. Кто против? Кто воздержался? Единогласно проект заключения принимается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.03  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 07.12.2016 протокол № 6

О присуждении Кузьминой Юлии Сергеевне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование процесса низкотемпературного пиролиза (торрефикации) гранулированного биотоплива» в виде рукописи по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы, принята к защите 30.09.2016г., протокол № 5 диссертационным советом Д 002.110.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, [jiht.ru](http://jiht.ru), (495) 485-83-45), утвержденным Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.02.2013 г. № 75/нк.

Соискатель Кузьмина Юлия Сергеевна, 1989 года рождения, в 2012 году окончила МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В 2016 году окончила аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Работает научным сотрудником Лаборатории № 2.1.3.1 – распределенной генерации НИЦ-2 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник Зайченко Виктор Михайлович, заведующий отделом № 2.1.3 НИЦ-2 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Косивцов Юрий Юрьевич, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», кафедра "Биотехнология и химия", профессор;

- доктор химических наук, профессор Мясоедова Вера Васильевна, ФГБУН «Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН», главный научный сотрудник дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ МЭИ) (г. Москва), в своем положительном заключении, составленном профессором кафедры Инженерной теплофизики (ИТФ) д.т.н. Яговым В.В., заведующим кафедрой ИТФ к.ф.-м.н. Герасимовым Д.Н. и доцентом кафедры ИТФ к.т.н. Глазковым В.В. (утвержденном проректором по научной работе, д.т.н., проф. Драгуновым В.К.), отметила актуальность, научную новизну и практическую значимость работы. По диссертации имеются следующие замечания:

1. Следовало бы провести более детальный анализ влияния параметров исходного сырья на состав конечного продукта после торрефикации. Как свидетельствуют данные других авторов, это влияние очень велико.

2. При расчете энергетической и экономической эффективности процесса торрефикации значительное влияние оказывают энергетические затраты, связанные с очисткой отходящих газов процесса торрефикации. К сожалению, анализу процесса очистки в работе уделено относительно мало внимания.

3. При расчете газогенератора на различных видах топлива влажность щепы и торфа, рассматриваемых как альтернативное сырье для процесса газификации, представляется завышенной, что влияет на оценку эффективности процесса.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Объединенном институте высоких температур РАН, Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» и в других научных учреждениях

Соискатель имеет 4 статьи в реферируемых журналах (3 из них в журналах из списка ВАК), более 15 тезисов в сборниках трудов конференций, получено 2 патента и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

#### Основные работы:

1. Куфтов А.Ф., Кузьмина Ю.С. Перспективы применения твердых топлив из биомассы [Электронный ресурс] // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 8. URL.: <http://technomag.bmstu.ru/doc/216747.html> (дата обращения 04.09.2016).

2. Бессмертных А.В., Зайченко В.М., Коростина М.А., Кузьмина Ю.С. Перспективные технологии комплексной переработки торфа // Промышленная энергетика. 2013. №2. С. 54–57.

3. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Косов В.Ф., Кузьмина Ю.С. Демонстрационный энерготехнологический комплекс с реактором торрефикации модульного типа // Промышленная энергетика. 2016. №2. С. 58–62.

4. Julia Kuzmina, George Sytchev, Victor Zaychenko. Torrefaction. Prospects and Application // Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 50. doi: 10.3303/CET1650045.

5. Патент РФ № 2013122072/05, 15.05.2013. Зайченко В.М., Косов В.Ф., Кузьмина Ю.С., Марков А.В., Морозов А.В. Энерготехнологический комплекс с торрефикатором биопеллет // Патент России № 136801. 2014. Бюл. № 2.

6. Патент РФ 2015142402/13, 06.10.2015. Зайченко В.М., Косов В.Ф., Кузьмина Ю.С., Сычев Г.А. Установка для торрефикации гранулированной биомассы // Патент России № 161775. 2016. Бюл. № 13.

7. Программа сбора и обработки теплотехнических параметров энерготехнологического когенерационного комплекса. Молчанов Д.А., Кузьмина Ю.С. // Свид-во о регистрации программы для ЭВМ № 2016616737. 20.06.2016.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»** (заместитель заведующего отделом Биотехнологий и Биоэнергетики, к.т.н. Готовцев Павел Михайлович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в автореферате не сказано, почему были выбраны температуры 230, 250 и 270 °С для проведения торрефикации;

- желательно было бы в автореферате представить основные уравнения математической модели.

**2. ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана** (доцент кафедры «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки», к.т.н. Бурцев Сергей Алексеевич) – отзыв положительный, с замечаниями:

- к сожалению, отраженные в автореферате исследования были выполнены только для пеллет, полученных из отходов хвойных пород деревьев, в то время как проблема гигроскопичности наиболее критична для пеллет, изготовленных из рыхлых материалов (например, соломы);

- из анализа данных, представленных на рис. 3, сложно сделать вывод о том, что торрефикация увеличивает теплоту сгорания, т.к. данные разных авторов дают различные значения и дополнительно требуют нормализации по какому-то параметру (например, по составу пеллет);

- из материалов, представленных в автореферате, не ясно, как продолжительность процесса торрефикации влияет на изменение свойств пеллет (в эксперименте (рис. 4, 5) время – 30 мин., при испытаниях по схеме рис. 6 – 40 мин, а в предложенной на рис. 11 схеме – 1 час).

**3. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»** (профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», д.т.н., доцент Соснина Елена Николаевна и доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», к.т.н. Шалухо Андрей Владимирович) – отзыв положительный, с замечанием: в автореферате следовало бы отметить отечественных и зарубежных ученых, занимающихся вопросами низкотемпературного пиролиза биомассы, дать краткую характеристику полученных ими научно-технических результатов.

**4. Филиал «ЭНЕКС» ОАО «Ростовтеплоэлектропроект»** (главный специалист по экономике и возобновляемым источникам энергии, к.т.н. Чернявский Адольф Александрович) – отзыв положительный, с замечанием: при экономическом анализе, представленном в четвертой главе диссертационной работы, следовало бы, помимо приведенных значений простых сроков окупаемости затрат, дать также и значения дисконтированных сроков полного возврата инвестиций, поскольку деньги теряют свою стоимость с течением времени.

**5. ООО «Солар системс»** (заместитель генерального директора по инновациям, к.т.н. Симонов Владимир Михайлович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в автореферате не представлены формулы, описывающие математическую модель;

- не представлено подробное описание проведения испытаний типовой секции реактора торрефикации.

**6. ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»** (заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», д.т.н., профессор Жуков Николай Павлович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в автореферате не приведены расчётные зависимости потери массы, теплоты сгорания и теплосодержания топливных пеллет;

- из текста автореферата не ясно, будут ли использоваться горячие газообразные продукты пиролиза в качестве возобновляемых энергетических ресурсов (блок утилизации) с целью уменьшения энергозатрат на проведение самого процесса торрефикации.

**7. ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук** (главный научный сотрудник, д.т.н., профессор Баранов Николай Николаевич) – отзыв положительный, с замечанием: следует заметить, что математическая модель описана в автореферате очень кратко (хотя от допущений, положенных в основу модели, зависит достоверность полученных расчетных результатов).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

- д.т.н., профессор Косивцов Ю.Ю. является ведущим ученым в области энергетики, химических технологий в промышленности, а также методов термической обработки органического сырья.

Основные публикации Косивцова Ю.Ю., близкие к тематике диссертации:

1. Sulman E.M., Kosivtsov Yu.Yu., Sidorov A.I., Stepacheva A.A., Lugovoy Yu.V. Fuel gas production through low-temperature catalytic pyrolysis of flax shives // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11(7). P. 4439-4447.
2. Тихонов А.В., Сульман М.Г., Косивцов Ю.Ю., Луговой Ю.В. Пиролиз как современный метод получения альтернативных источников энергии // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия*. 2015. № 2. С. 45-51.
3. Kosivtsov Y.Yu., Chalov K.V., Lugovoy Y.V., Sulman E.M., Stepacheva A.A. Co-pyrolysis of peat and petroleum containing waste on Ni and Co containing catalysts // *Chemical Engineering Transactions*. 2015. Vol. 45. P. 667-672.

- д.х.н. профессор Мясоедова В.В. является видным учёным с мировым именем в области физической химии, а также топлив на основе возобновляемого лигноцеллюлозного сырья. Автор более 300 научных работ, шести монографий.

Основные публикации Мясоедовой В.В., близкие к тематике диссертации:

1. Мясоедова В.В. О перспективах использования процессов газификации низкосортных углей, сланцев и биомассы // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2013. № 6. С. 56-62.
2. Скопинцев И.В., Мелешкина А.М., Мясоедова В.В. Термохимическая конверсия и композиционные сорбенты для нефтепродуктов на основе смесей целлюлозосодержащих и полимерных отходов упаковки // *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*. 2013. Т. 2. № 3 (17). С. 86-90.
3. Мясоедова В.В. Некоторые стандарты топливных гранул и пеллет на основе лигноцеллюлозного сырья // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2012. № 3. С. 24-28.

Выбор национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ») в качестве ведущей организации обусловлен тем, что НИУ «МЭИ» является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования в области энергетики. В институте активно ведутся работы по разработке и исследованию автономных энергокомплексов с использованием возобновляемых источников энергии, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации сотрудников НИУ «МЭИ», близкие к тематике диссертации:

1. Султангузин И.А., Федюхин А.В., Курзанов С.Ю., Степанова Т.А., Тумановский В.А. Разработка технических решений для производства отечественных когенерационных установок с использованием технологий газификации и пиролиза местного твердого топлива // *Промышленная энергетика*. 2015. № 5. С. 51-54.
2. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов. -М.: МЭИ, 2014. –542 с.
3. Гюльмалиев А.М., Султангузин И.А., Федюхин А.В., Степанова Т.А. Термодинамический анализ характеристик генераторного газа при газификации подмосковного бурого угля // *Химия твердого топлива*. 2014. № 3. С. 21-26.
4. Федюхин А.В., Султангузин И.А., Степанова Т.А., Волошенко Е.В., Курзанов С.Ю., Исаев М.В. Совершенствование систем пиролиза и газификации твердого топлива для эффективной выработки тепловой и электрической энергии // *Кокс и химия*. 2013. № 8. С. 38-42.

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

- экспериментально обоснован процесс торрефикации при непосредственном нагреве топливных пеллет за счет сбросного тепла уходящих газов газопоршневой энергоустановки;
- экспериментально исследованы основные свойства торрефицированных пеллет, показано, что с увеличением температуры торрефикации теплота сгорания торрефицированных пеллет может достигать 22,1 МДж/кг, что на 10 % выше, чем необработанных, а предел гигроскопичности снижается вдвое;
- определены основные режимные параметры процесса торрефикации и разработана принципиальная схема когенерационного энерготехнологического комплекса с реактором торрефикации.

**Научная новизна исследования** заключается в том, что:

- предложена и обоснована схема процесса торрефикации с прямым нагревом биомассы продуктами сгорания газопоршневой энергоустановки, а также показана принципиальная возможность создания промышленной технологии с высокой энергетической эффективностью;
- получены новые экспериментальные данные по основным свойствам торрефицированных топливных пеллет (элементный состав, выход летучих, зольность, влажность, плотность, теплота сгорания и предел гигроскопичности);
- разработан когенерационный энерготехнологический комплекс и его основные узлы, в том числе реактор торрефикации.

**Практическая значимость** работы заключается в следующем:

- экспериментально подтверждена возможность реализации процесса торрефикации в реакторе с прямым нагревом древесных пеллет продуктами сгорания. Предложенная технология защищена двумя патентами;
- получены расчетные и экспериментальные зависимости теплоты сгорания, теплосодержания и потери массы пеллет от температуры торрефикации и времени процесса;
- результаты исследований использованы при создании энерготехнологического когенерационного комплекса на линии гранулирования биомассы завода ОАО «ПРОДМАШ», г. Ростов-на-Дону;
- представлены предложения по возможным сферам применения торрефицированных пеллет.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Объединенном институте высоких температур РАН, Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» и в других научных учреждениях.

**Оценка достоверности результатов** исследования выявила:

- результаты получены на сертифицированном оборудовании;
- идея диссертационной работы базируется на анализе научно-технической литературы по предметной области исследования, обобщении передового опыта работы других научных групп, лабораторий и технологических компаний;
- использованы современные методы и приборы для исследования свойств гранулированного топлива;
- установлено качественное совпадение авторских результатов и представлений с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Автор принимал активное участие в формулировке требований к торрефицированным пеллетам, разработке методик и проведении научных экспериментов по исследованию процесса торрефикации. Апробация результатов исследования проводилась на 14 российских и международных конференциях и симпозиумах, в которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены лично автором.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную для энергетики тему, и соответствует критериям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании от 07.12.2016г. диссертационный совет принял решение присудить Кузьминой Ю.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 11 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 0, действительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д 002.110.03

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03

д.т.н.



Вараксин А.Ю.

Директор Л.Б.