

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

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета Д 002.110.03, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2)

от 15 декабря 2020 г. (протокол № 3)

**Защита диссертации Сычева Георгия Александровича  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
«Экспериментальные исследования особенностей процесса торрефикации  
биомассы растительного происхождения»**

Специальность 05.14.01 – энергетические системы и комплексы

Москва – 2020

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии  
наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)

Протокол № 3 от 15 декабря 2020 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 18 человек, из них очно 4 доктора наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 4 доктора наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы и дистанционно 2 доктора наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 7 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 Варакин А.Ю.

**Ученый секретарь** – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03  
к.т.н. Фрид С.Е.

Фамилия, И.О.	Учёная степень, шифр специальности в совете	Присутствие
1. ВАРАКСИН А.Ю.	Чл.-корр. РАН, профессор 01.02.05	очное присутствие
2. БАТЕНИН В.М.	Чл.-корр. РАН, профессор 05.14.01	отсутствует
3. ФРИД С.Е.	К.т.н. 05.14.01	очное присутствие
4. АЛХАСОВ А.Б.	Д.т.н., профессор 05.14.01	удаленное подключение
5. АМИНОВ Р.З.	Д.т.н. 05.14.01	отсутствует
6. БИТЮРИН В.А.	Д.ф.-м.н., с.н.с. 01.02.05	удаленное подключение
7. БОЧАРОВ А.Н.	Д.ф.-м.н. 01.02.05	очное присутствие
8. ВАСИЛЬЕВ М.М.	Д.ф.-м.н. 01.02.05	очное присутствие
9. ВОРОБЬЕВ В.С.	Д.ф.-м.н., профессор 01.02.05	отсутствует
10. ДИРЕКТОР Л.Б.	Д.т.н. 05.14.01	очное присутствие
11. ЗАЙЧЕНКО В.М.	Д.т.н., с.н.с. 05.14.01	очное присутствие
12. ЗЕЙГАРНИК В.А.	Д.т.н., с.н.с. 05.14.01	очное присутствие
13. КЛИМОВ А.И.	Д.ф.-м.н., с.н.с. 01.02.05	удаленное подключение

14. КОБЗЕВ Г.А.	Д.ф.-м.н., профессор 01.02.05	удаленное подключение
15. КРАСИЛЬНИКОВ А.В.	Д.т.н., с.н.с. 01.02.05	очное присутствие
16. ЛЕОНОВ С.Б.	Д.ф.-м.н. 01.02.05	отсутствует
17. МЕДИН С.А.	Д.ф.-м.н., профессор 01.02.05	удаленное подключение
18. ПОЛЯКОВ А.Ф.	Д.т.н., профессор 01.02.05	отсутствует
19. ПОПЕЛЬ О.С.	Д.т.н., доцент 05.14.01	очное присутствие
20. ПЯТНИЦКИЙ Л.Н.	Д.ф.-м.н., профессор 01.02.05	удаленное подключение
21. РЯБОВ Г.А.	Д.т.н. 05.14.01	удаленное подключение
22. СИНКЕВИЧ О.А.	Д.ф.-м.н., профессор 01.02.05	отсутствует
23. ТОМАРОВ Г.В.	Д.т.н., профессор 01.02.05	удаленное подключение
24. ЧИННОВ В.Ф.	Д.т.н., профессор 01.02.05	отсутствует
25. ШУГАЕВ Ф.В.	Д.ф.-м.н., доцент 01.02.05	удаленное подключение

### ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории №12 – распределенной генерации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Сычева Георгия Александровича** на тему «Экспериментальные исследования особенностей процесса торрефикации биомассы растительного происхождения». Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. Диссертация выполнена в лаборатории №12 – распределенной генерации 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 лабораторией №12 – распределенной генерации 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 биотехнологии, химии и стандартизации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет» (170026, Тверская область, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22)

**Литун Дмитрий Степанович** – гражданин РФ, к.т.н., старший научный сотрудник

лаборатории специальных котлов Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»; Россия, 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14)

**Ведущая организация:**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"** (НИЦ «Курчатовский институт», 123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1).

На заседании присутствуют официальные оппоненты: д.т.н., профессор Косивцов Ю.Ю. и к.т.н. Литун Д.С.; научный руководитель Сычева Г.А. д.т.н., старший научный сотрудник Зайченко В.М.

## **СТЕНОГРАММА**

### **Председатель**

Уважаемые присутствующие, если нет возражений, я предлагаю начать наше сегодняшнее заседание. Заседание будет проходить в удаленном интерактивном режиме (согласно Приказу Министерства образования и науки Российской Федерации № 734 от 22.06.2020г. «Об особенностях порядка организации работы советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»), для этого необходимо было провести некоторую организационную процедуру, в частности, я как председатель диссертационного совета написал ходатайство директору ОИВТ РАН академику Петрову О.Ф., просил его издать приказ по институту о проведении защиты в удаленном интерактивном режиме. Тут предполагалось, что соискатель и все члены диссертационного совета проинформированы и дали свое согласие, соответствующие согласия прилагаются, на проведение заседания в таком формате. 24 ноября в ОИВТ РАН вышел приказ директора о проведении заседания нашего сегодняшнего с вами в удаленном интерактивном режиме, поэтому мы обладаем всеми полномочиями. 9 человек сегодня присутствуют в очном формате из членов диссертационного совета, 9 человек у нас находятся на связи в онлайн-формате работы. Сегодня у нас на повестке дня один вопрос – это защита диссертации Сычева Георгия Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Экспериментальные исследования особенностей процесса торрефикации биомассы растительного происхождения» по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. Предоставлю слово Семену Ефимовичу для того, чтобы ученый секретарь огласил содержание всех необходимых материалов для проведения сегодняшней защиты.

### **Ученый секретарь**

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

### **Председатель**

Так, может у кого-нибудь есть вопросы к Семену Ефимовичу? \*Вопросов нет\* Георгий Александрович, вам предоставляется слово для изложения основных положений диссертации. Просьба придерживаться регламента, а он 20 минут составляет. Вам слово.

### **Сычев Г.А.**

*Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Сычева Г.А. прилагается).*

### **Председатель**

Спасибо, Георгий Александрович. Есть возможность задать вопросы.

### **Васильев М.М.**

Георгий Александрович, несколько вопросов с вашего позволения. Я сразу извиняюсь, я не специалист в области горения и торрефикации, поэтому может быть мои вопросы будут отчасти наивными. Первое, вы заявили, что работа ваша делается в рамках перехода к углерод-нейтральной энергетике. Скажите, в какой момент, когда мы переходим к отходам лесопромышленного комплекса, потом – к образованию торфа, потом – к образованию бурого угля, потом – к образованию каменного угля, потом – к образованию антрацита, а где-то там по ходу еще при определенных условиях – к газу и к нефти, в какой момент мы считаем, что мы все еще углерод-нейтральны или мы уже сжигаем топливо, от которого хотим уйти. Это – первый вопрос. Я сразу несколько моментов отмечу.

### **Попель О.С.**

Это – философский вопрос!

### **Васильев М.М.**

Это – философский вопрос, то есть насколько здесь вообще применение терминологии углерод-нейтральности. Второй момент технический, но важный – вы не показали, какие публикации были сделаны по данной работе. И третий момент. Давайте, вы ответите на это, а я сейчас сформулирую пока третий момент.

### **Сычев Г.А.**

Касательно углеродной нейтральности. По моему мнению, термин достаточно свежий и новый, под собой подразумевает использование топлива, не дополняющего окружающую среду выбросами углекислого газа. Почему биомасса называется углерод-нейтральной – она за свой жизненный цикл, с момента своего восхода и, собственно, до сбора выделяет идентичное количество кислорода, т.е. поглощает количество  $\text{CO}_2$ , идентичное тому, что выделяется в процессе ее энергетического использования. Поэтому вопрос касательно того, в какой момент в этой цепочке переходов, скажем так, от растительной биомассы уже к антрациту и газу можно заявить о пересечении грани углерод-нейтральности, я считаю, что этот показатель где-то на уровне торфа должен находиться, поскольку он все-таки относится к условно возобновляемым источникам.

### **Попель О.С.**

Проще ответить так: считается, что отходы, по крайней мере, растительности, они все равно бы сгнили и выделили бы  $\text{CO}_2$ , поэтому при сжигании – это эквивалент тому, что они бы сгнили сами по себе.

### **Зайченко В.М.**

Но это же количество  $\text{CO}_2$  поглощено, когда биомасса росла.

### **Попель О.С.**

Это естественно. Но считается, что так или иначе биомасса разложилась бы и выделила  $\text{CO}_2$ , либо вы ее сожгли. Поэтому ее относят условно к экологически безопасным.

### **Васильев М.М.**

Про публикации, если можно, если слайд у вас заготовлен.

### **Сычев Г.А.**

Основные публикации представлены на этом и этом слайдах. В принципе, они отмечены и в автореферате, но я их также на всякий случай привел в случае возникновения вопросов.

### **Васильев М.М.**

Увидел. И второй вопрос тоже может быть отчасти схоластическим. Но, тем не менее, весьма интересный. Еще в давние времена, наверное, века 3-4, а может быть и больше, назад, кузнецы использовали биотопливо, а именно, поленья, которые обмазывались глиной, чтобы предотвратить доступ кислорода, над ними повышалась температура и таким образом создавались брикеты для того, чтобы топить кузню, мехами все это раздувалось и так далее. Насколько процесс, о котором вы нам рассказывали, новый или это хорошо забытое старое. И если здесь есть новая составляющая, то какая она, выделите основные физические моменты, в чем новизна.

### **Сычев Г.А.**

На самом деле, процесс торрефикации уходит корнями глубоко, как сама концепция. Но в работе показано из нового то, что, во-первых, ранее не использовался экзотермический эффект при организации именно технологического процесса. То есть известно, что он есть, экзотермический эффект, который и при углежжении, например, возникает и так далее. Но именно интенсификация процесса за счет использования тепла экзотермического эффекта, в принципе, прикладного применения не нашла. Тут она продемонстрирована и апробирована экспериментально.

### **Васильев М.М.**

Спасибо

### **Попель О.С.**

У меня вот такой вопрос. Безусловно биомасса и пеллеты привлекают все больше и больше внимания в малой и автономной энергетике. Очень много на рынке предложений по пеллетным котлам для обогрева домов и так далее. И пеллеты относительно дешевые на рынке. Я на конкретном примере хочу задать вам несколько вопросов. Для того, чтобы в московских условиях климатических дом с площадью до 150 кв. м отопить в течение сезона нужно порядка 5 тонн пеллет. Оборудование само и пеллеты очень привлекательны. Котлы отечественного производства сейчас относительно дешево стоят – от 50 до 100 тыс. рублей (мощностью до 10-15 кВт), зарубежные – конечно подороже. И сами пеллеты: 5 тонн примерно нужно, можно купить за 30-40 тыс. рублей и на год себя обеспечить тем самым теплом. Это получается в несколько раз выгоднее, чем ставить газгольдер, для жидких топлив и так далее. Возникает серьезнейшая проблема: 5 тонн пеллет надо где-то хранить, к тому же необходимо сухое помещение (иначе они все распадутся), организовать завоз этих пяти тонн, загрузку/разгрузку и так далее. Безусловно торрефикация приводит к качественным полезным результатам: снижается влагопоглощение, тем самым эти пеллеты не разрушаются, снижается вес пеллет при одной и той же суммарной теплотворной способности и объем в какой-то степени. Могли бы вы назвать вот эти цифры, если мы перейдем от обычных пеллет к торрефицированным, что мы выиграем по массе, по удельному объему (во сколько раз мы сократим объем, по крайней мере, хранилища), ну и конечно убийственный вопрос – сколько вы энергии потеряете пока до стоимости. Ведь вам, чтобы получить эти новые качества, вам нужно затратить энергию. Какую долю от теплотворной способности исходных пеллет вы должны вложить, чтобы получить торрефицированные пеллеты и с новыми качествами. Вот три вопроса: каково уменьшение объема, массы, сколько вы теряете при этом энергии?

### **Сычев Г.А.**

Касательно снижения объема, оно недостаточно близко к потерям массы: в объеме пеллеты в процессе торрефикации теряют не так значительно, порядка 10-15% при массовых потерях порядка 30%. Я говорю конкретно о пуске, который был описан мной ранее в третьем Положении. Объемные потери порядка 15% при массовых потерях порядка 30%.

### **Попель О.С.**

А сколько вы потеряете энергии от исходных пеллет?

### **Сычев Г.А.**

На килограмм биомассы необходимо потратить примерно 1,18 МДж, что составляет примерно 5% от исходной биомассы.

### **Попель О.С.**

Всего 5 %?

### **Сычев Г.А.**

В случае реализации торрефикации с использованием тепла экзотермических реакций. В ином случае данная доля возрастает до 20%.

### **Председатель**

Георгий Александрович, принципиальный вопрос. У нас, допустим, теплота сгорания, высшая или низшая, исходного сырья есть. Потом мы получаем другие уровни теплот сгорания. На это тратится энергия. На одном слайде у вас была цифра 3,6 МДж/кг и вот эта цифра, которую вы сейчас называете – 1,18 МДж/кг. Как я понимаю вопрос Олега Сергеевича, мы тратим энергию, но мы получаем добавку. В процентах это сколько получается, если одно отнести к другому? Это вопрос принципиальный, если мы смотрим энергетику. Если мы рассматриваем экономику, то там еще накладывается дальше само устройство торрефикации и так далее. Ну, это технологическая вещь, поэтому нужно почтче.

### **Попель О.С.**

Кроме того, вопрос такой. Вот этот график (*слайд 9*). Казалось бы, целью исследования должно было быть определение оптимальной точки на этом графике на основе какого-то критерия. Где вам нужно остановиться, при какой температуре организовать этот процесс торрефикации, на какой доле потери массы на основе какого-то критерия (конечно критерием должна быть экономика, но может быть какой-то энергетический критерий) – вы об этом задумывались? Здесь напрашивается поиск некоторой оптимальной зоны (на этом графике), в пределах которой вам нужно реализовывать этот процесс. Что вы можете сказать?

### **Сычев Г.А.**

Да, я, наверное, недостаточно четко сказал. Обычно область торрефикации ограничена массовыми потерями в 30% ввиду того, что целевым продуктом является твердое сырье, а не газ. Как следует из этого графика, при ужесточении режимов торрефикации (при массовых потерях более 30%) уже идет резкий скачок рост потерь от температуры.

### **Попель О.С.**

Какой-нибудь критерий хотелось бы сформулировать, где найти эту оптимальную зону, согласны вы со мной? В этом направлении вы не задумывались?

**Сычев Г.А.**

Я согласен с вами. В рамках данной работы на большой установке все-таки был выбран режим, соответствующий массовым потерям в 30% и на его основе были проведены энергетические оценки.

Я думаю, для ответа на этот вопрос необходимо провести комплексные исследования в более широком диапазоне режимов торрефикации.

**Попель О.С.**

С практической точки зрения ответ на этот вопрос представляется наиболее интересным и важным, потому что это определяет и энергетику, и экономику и все-все-все.

**Сычев Г.А.**

Согласен.

**Председатель**

Так, коллеги, еще, пожалуйста, вопросы, но учитываем то, что вопросы уже есть от тех, кто с нами онлайн сегодня работает, поэтому нужно это учесть. Еще вопросы от присутствующих есть? Сейчас мы обратимся к членам совета, которые работают сегодня в онлайн-режиме.

**Шугаев Ф.В.**

Там был максимум на кривой, чем он объясняется с физической точки зрения? *(вопрос по кривым эффективной теплоемкости и кривым скорости потери массы на слайде 19).*

**Сычев Г.А.**

Данный максимум соответствует максимальной скорости термической деструкции гемицеллюлозы, после него ее компонент, скажем так, обрабатывает и кривая скорости потери массы идет на спад. Такие же максимумы присутствуют и для целлюлозы и условно для лигнина в данной температурной области. То есть это максимальный выход компонента ввиду повышения температуры.

**Пятницкий Л.Н.**

А почему такой узкий резонанс какой-то?

**Сычев Г.А.**

Так себя ведут компоненты органической части биомассы, у них достаточно узкие температурные диапазоны термической деструкции. То есть, это – кривая зависимости скорости потери массы от температуры. В целом, если немного поподробнее, то при торрефикации потери массы от температуры лежат в диапазоне от 0,9 до 0,65 и им соответствуют скорости потери массы. Происхождением сырья диктуется исключительно (про узкий резонанс).

**Климов А.И.**

Можно еще вопрос?

**Председатель**

Давайте, Анатолий Иванович.

**Климов А.И.**

Скажите, пожалуйста, у меня два вопроса. Первый. Я присоединяюсь к предыдущим вопросам: я потребитель, взял машину дров, она стоит известно сколько.

После вашей переработки сколько будет стоить эта же машина торрефицированного топлива? Насколько повысится цена топлива? По экономике – это первый вопрос. Второй вопрос связан с производством синтез-газа. Из данных по элементному составу видно, что водорода не так много по сравнению с углеродом. Как вы добиваетесь пропорции  $H_2/CO$  равным 2:1? Это же надо умудриться, чтобы получить такую высокую концентрацию водорода. И третий вопрос, последний. Вы дожигаете токсичные вещества в своем реакторе, но анализ этих токсичных веществ вами был сделан или нет? Насколько вы утилизировали эту гадость, которая выбрасывается в атмосферу? Спасибо.

**Сычев Г.А.**

С вашего позволения начну с конца. На самом деле дожигатель у нас работает с достаточным количеством кислорода и достаточным количеством запальных факелов. Дожигатель, который представлен на слайде, представляет собой камеру сгорания, в которой установлены несколько газовых горелок. Честно говоря, именно экологической экспертизы мы не проводили.

**Попель О.С.**

Состав газа этого известен?

**Сычев Г.А.**

Да, мы его анализ проводили.

**Попель О.С.**

Что там самое вредное?

**Сычев Г.А.**

В принципе, он весь состоит из предельных углеводородов, а также из различных кислот, фурфурола, муравьиной кислоты. Детальный компонентный химический анализ применительно к конкретной установке не проводился, ввиду того, что летучие продукты в значительной мере разбавлены продуктами сгорания газопоршневой станции. Экологическую экспертизу по этому вопросу мы не проводили, но есть уверенность, что летучие продукты утилизируются в достаточной мере. Касательно получения синтез-газа из биомассы. В принципе, у нас на основе элементного состава проведен расчет по материальному балансу сырья на входе и выходе в приближении, что весь водород переходит в  $H_2$ , а весь кислород переходит в  $CO$ .

**Климов А.И.**

Но это же очень упрощенно и неверно.

**Сычев Г.А.**

Да, это упрощенно, однако было подтверждено экспериментальными данными, полученными на установке. На предпоследнем слайде я отмечал, что для апробации этого приближения был проведен ряд экспериментов, которые эти расчеты подтвердили.

**Климов А.И.**

Ну и первый вопрос, сколько стоить будут дрова, каково удорожание?

**Сычев Г.А.**

Касательно первого вопроса. Моими коллегами была проведена оценка, которая показала незначительное удорожание такого сырья на величину порядка 20%. Конкретно я экономическую оценку в рамках данной диссертационной работы не проводил. Но в этом мне видится хорошее направление дальнейшей деятельности.

**Битюрин В.А.**

Можно добавить к вопросу Климова?

**Председатель**

Да, Валентин Анатольевич.

**Битюрин В.А.**

Дополнение к вопросу Климова. Стоимость надо не дров оценивать, которые остались после торрефикации, а стоимость извлекаемой энергии, которую вы потом можете продавать, как результат двух этапов: торрефикации и потом энергогенерации. Вот это важная характеристика. Как там со стоимостью?

**Сычев Г.А.**

Достаточно комплексный вопрос, который также требует проведения соответствующих исследований, потому что сходу ответить трудно. Я считаю, что использование технологии интенсифицированной торрефикации позволит избежать дальнейшего повышения цен на такое кондиционное топливо и возможно удержать его в рамках тех же 20%. Такое топливо обладает характеристиками горения лучшими, чем исходное биосырье.

**Битюрин В.А.**

Навскидку, судя по картинкам, вы очень много энергии теряете при торрефикации вместе с массой. То есть, масса еще носит энергосодержание исходного продукта. У меня такое сложилось впечатление.

**Климов А.И.**

У них там примерно 1 МДж/кг, то есть не очень много по цифрам, Валентин. Но все равно много.

**Председатель**

Если вопросов больше нет, тогда слово предоставляется, в соответствии с нашим регламентом, научному руководителю диссертанта д.т.н. Зайченко Виктору Михайловичу.

**Зайченко В.М.**

Спасибо за то, что предоставляете мне слово. Все критикуют, я тоже буду критиковать. Как было сказано, Георгий пришел сюда (в *ОИВТ РАН*) в 2011 году, год он работал, будучи студентом МГТУ, в 2012 году он его окончил. Сегодня, я извиняюсь, 2020 год. Вообще говоря, 8 лет для нас – это много. Я считаю, что эта защита должна была быть примерно года 2 назад, но были такие обстоятельства, что было тяжело справиться. Вот этот стенд, который показывали – это производительность 120-150 кг. Во-вторых, эта идея, что мы понижаем потребление энергии в этом процессе в столько-то раз. К нам приходил один человек на стенд, который резко и жестко нас критиковал с заявлением, что допустимо снижение энергопотребления на 5-10%, но в 5 раз – не бывает. И вот это «не бывает» нас преследовало все время с тех пор. Я помню, один из очень больших артистов о времени творческого пути артистов и вообще творческих людей и у него выходило примерно так: кто начал в 25-27 лет, заканчивает в 55-60, кто до 35 дотянул и начинал потом – доходил до 75. С моей точки зрения Гоша опаздывает, но все мы надеемся, что он дотянет, он перешагнет и обгонит наших некоторых коллег и реализует наши новые технические решения. И еще, последнее. В этой работе принимал большое участие большой коллектив людей и, пользуясь случаем, хочу выразить искреннюю благодарность этим людям, которые это делали, спасибо, пусть все будет хорошо. Спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Виктор Михайлович. Есть вопросы к научному руководителю? Если вопросов нет, я предоставляю слово Семену Ефимовичу для оглашения заключения организации, где выполнялась диссертация, – это Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, отзыва ведущей организации – это НИЦ «Курчатовский институт», а также других письменных отзывов, которые поступили на автореферат диссертации.

### **Ученый секретарь.**

Во-первых, заключение организации, где выполнялась работа. Я о нем уже немного говорил. Это Объединенный институт высоких температур Российской академии наук. По итогам обсуждения принято следующее заключение:

«В настоящей диссертационной работе проведены экспериментальные исследования физико-химических особенностей процесса торрефикации биомассы, а также разработан и апробирован на пилотной установке метод повышения энергоэффективности технологии торрефикации за счет использования тепла экзотермических реакций.

Представлены и систематизированы результаты комплексного исследования характеристик твердых и летучих продуктов торрефикации трех видов растительной биомассы: отходы деревообрабатывающей промышленности (древесные опилки), отходы сельскохозяйственного производства (солома) и торф; исследовано влияние режимных параметров процесса торрефикации на теплофизические свойства конечных продуктов. Предложен универсальный критерий, позволяющий проводить сопоставление характеристик биомассы, торрефицированной при различных режимных параметрах процесса – температуре и времени выдержки.

Тема диссертации является актуальной, так как затрагивает вопросы рационального использования местных топливно-энергетических ресурсов и уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду. Исследования, проведенные в рамках выполнения диссертационной работы, непосредственно связаны с планом научно-исследовательских работ ОИВТ РАН. Изложенные в диссертации результаты оригинальны и достаточно полно представлены в работах, опубликованных диссертантом в соавторстве с коллегами.

Все результаты, включенные в диссертацию, получены автором лично. Работа Сычева Г.А. «Экспериментальные исследования особенностей торрефикации биомассы растительного происхождения» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук».

Теперь отзыв ведущей организации. Ведущей организацией является НИЦ «Курчатовский институт». В отзыве ведущей организации отмечены актуальность работы, её новизна и практическая значимость, но сформулирован ряд замечаний:

1. Из текста диссертации не ясно, были ли использованы данные по экзотермическому эффекту, полученные методом термического анализа, при создании пилотной установки.

2. В диссертационной работе приведены данные по экзотермическому эффекту, полученные для древесины. Поскольку в работе исследовались три вида биомассы, желательно было бы привести результаты аналогичных исследований для других видов биомассы, если они проводились.

3. Автор отмечает, что универсальный параметр отражает влияния двух режимных параметров процесса торрефикации (температуры и времени выдержки), однако еще одним параметром может являться скорость нагрева.

4. На рисунке 2.9 (стр. 58) представлены фотографии поверхности образцов, которые представляют определенный интерес. Следовало указать с использованием

какого оборудования были получены эти снимки.

5. В тексте диссертации имеется ряд неточностей, среди которых следует отметить: стр. 24, рис. 1.4 приведенная на рисунке химическая структура галактоглокоманнана – основного типа гемицеллюлоз тканей мягкой древесины, не соответствует общей химической формуле гемицеллюлоз, представленной ниже по тексту; стр. 24 – дополнить литературным источником с указанием, откуда взята приведенная общая химическая формула лигнина; стр. 25, рис. 1.5 – уточнить происхождение данного лигнина, а также добавить ссылку на источник, откуда взято приведенное химическое строение молекулы, стр. 35, рис. 1.11 – рисунок не соответствует подписи. Приведенное изображение представляет собой фрагмент клеточной стенки, но не клетку в целом; стр. 109, рис. 5.3 – на рисунке представлены и литературные данные, в легенде к рисунку указан Peng, 2013, желательнее заменить на указание ссылки [96].

И заключение по работе. Диссертация Сычева Георгия Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены и изложены научно-обоснованные результаты, имеющие существенное значения для решения задач развития и промышленного внедрения энергоэффективной и экологичной технологии торрефикации гранулированной биомассы растительного происхождения. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 "О порядке присуждения ученых степеней" с изменениями, внесенными Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 мая 2020 г. № 751 "О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней", а ее автор, Сычев Георгий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Диссертация рассмотрена, а отзыв обсужден и одобрен на научном семинаре Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт» 17 ноября 2020 г., протокол № 6 от 17 ноября 2020 г (в обсуждении приняло участие 18 специалистов по теме защищаемой диссертации, в том числе, 8 кандидатов наук, 3 доктора наук).

Получено 6 отзывов на автореферат. Все они положительные, все с замечаниями.

**(Первый отзыв)** Отзыв к.т.н. **Кузьмина Сергея Николаевича**, доцента кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника» **ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»**. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. В тексте автореферата следовало бы дать более четкое определение универсального параметра (массовые потери в процессе торрефикации биомассы) для сопоставления прогнозируемых свойств твердого остатка.

**(Второй отзыв)** Отзыв д.т.н. **Герасимова Геннадия Яковлевича**, ведущего научного сотрудника лаборатории кинетических процессов в газах **Научно-исследовательского института механики МГУ имени М.В. Ломоносова**. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Из текста автореферата не понятно, какую роль сыграли данные, полученные на лабораторном оборудовании и экспериментальной установке с неподвижным слоем, при разработке и создании когенерационного комплекса для торрефикации растительной биомассы.

2. Из текста автореферата не ясно, каким образом проводилась оценка энергетической эффективности реактора для торрефикации биомассы: представлены только результаты сопоставления производительности установки при двух режимах работы.

3. В таблице 5 следовало бы отразить также характеристики функционирования реактора для торрефикации (например, производительность или коэффициент энергоэффективности).

**(Третий отзыв)** Отзыв д.т.н., профессора **Налётова Алексея Юрьевича**,

профессора кафедры «Химическая технология углеродных материалов» **ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»**. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Желательно излагать научную новизну работы в более конкретном виде (стр. 4 автореферата). Например, получены новые экспериментальные результаты (п. 1) ..., которые позволяют ... (далее должен идти смысл полученных результатов, что, собственно, и является научной новизной). Или получен универсальный критерий (п. 2)... (далее желательно отразить какой критерий и в чем его универсальность). Также желательно в разделе практическая значимость работы (стр. 4 автореферата) привести конкретные цифры, например, в п. 1 – на сколько удалось снизить удельное энергопотребление?

2. Из текста автореферата (стр. 4 практическая значимость п. 1) неясно, являются ли предложения по непрерывному процессу террефикации гранулированной биомассы универсальными для всех ее видов, полученных из древесины, торфа или соломы.

3. При аппроксимации результатов экспериментов (рис. 1, 2, 3, 11 автореферата) необходимо проводить их статистическую обработку и представлять на графиках доверительные интервалы.

**(Четвертый отзыв)** Отзыв к.т.н., доцента **Яворовского Юрия Викторовича**, заведующего кафедрой промышленных теплоэнергетических систем **ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»**. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Автором работы экспериментально доказана возможность интенсификации процесса торрефикации за счет использования тепла экзотермических реакций. Однако остается неясным, какую долю в энергетическом балансе установки торрефикации биомассы занимают данные реакции, и как эта доля варьируется в зависимости от режимов и/или вида сырья.

2. В автореферате отсутствует энергетический баланс пилотной установки для торрефикации биомассы (не известен расход природного газа, электрическая мощность газопоршневой установки и пр.), и не обоснована компоновка данной установки с точки зрения энергетических и/или экономических показателей. К примеру, не рассмотрены варианты замещения газопоршневой установки на газотурбинную или твердотопливный котел с разработкой оптимальной компоновки для различных предприятий или регионов страны.

**(Пятый отзыв)** Отзыв д.т.н., профессора **Зорина Александра Сергеевича**, заведующего кафедрой – руководителя научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики **ФГАО ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»** и к.т.н. **Табакаева Романа Борисовича**, научного сотрудника научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики **ФГАО ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Некоторые обозначения теплотехнических характеристик не соответствуют общепринятым. Например, выход летучих веществ обозначается как “ $VP_n$ ”, низшая теплота сгорания “ $Q_n$ ”, хотя существуют общепринятые обозначения, используемые в российских и международных стандартах –  $V^{daf}$  и  $Q_i^r$ , соответственно. Более того, отсутствуют пояснения, в связи с чем значения этих величин определены автором по данным дифференциально-термического анализа, а не по предназначенным для этого общепринятым стандартам ГОСТ и ИСО.

2. На стр. 6 написано «для измерения элементного состава использовались минимум 3 пробы...». Почему в качестве минимального количества проб взято значение 3? Согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения» значения коэффициентов Стьюдента даны

для количества измерений 4 и более. Каким образом происходила математическая обработка с оценкой погрешности измерения?

3. Почему выбраны различные температуры торрефикации для древесины, торфа и соломы? В тексте автореферата данный момент не освещен. Кроме того, в тексте по обоснованию актуальности дана информация, что торрефикация осуществляется при температурах 200-300°C, а большая часть данных на графиках (рис. 2-4) приведена для массовых потерь более 60%, соответствующих температурам свыше 300°C (рис. 1).

4. В сведениях о публикациях (стр. 5) упомянуто, что по результатам диссертации получено 2 патента на изобретение и 1 патент на полезную модель. Однако в перечне основных публикаций по теме (стр. 19-20) они отсутствуют.

**(Шестой отзыв)** Отзыв д.ф.-м.н. **Щербакова Владимира Андреевича**, главного научного сотрудника лаборатории энергетического стимулирования физико-химических процессов **Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук**. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. В автореферате на рис. 10 представлены данные по объемному выходу водорода и монооксида углерода, полученные путем крекинга летучих продуктов, выделяющихся при торрефикации древесных, соломенных и торфяных таблетированных масс. Показано, что мольное соотношение водорода и монооксида углерода в полученном синтез-газе независимо от температуры торрефикации и вида использованного сырья составляет 1:1. При этом объемное выделение водорода в синтез-газе, полученном при торрефикации соломы, в полтора раза выше, чем при использовании торфа и в три раза выше, чем при использовании древесины. Однако объяснение этого результата в автореферате не представлено.

Все с замечаниями.

### **Председатель**

Георгий Александрович, вам предоставляется слово для ответа на замечания, которые прозвучали в письменных отзывах. Ну, естественно, пожалейте время, может быть с чем-то можно и нужно согласиться.

### **Сычев Г.А.**

Ответы на замечания ведущей организации:

1. Результаты, полученные методом термического анализа, были использованы при разработке численной модели реактора торрефикации с подвижным слоем, которая позволила определить оптимальные параметры функционирования комплекса. Модель не была включена в диссертацию, поскольку я не принимал непосредственного участия в её разработке.

2. В рамках диссертации комплексные исследования экзотермического эффекта, т.е. исследования на термоанализаторе, лабораторной и пилотной установках проводились лишь с использованием древесных пеллет. Исследования с другими видами сырья проводились только на термоанализаторе, поэтому я посчитал нецелесообразным включать их в диссертацию.

3. Следует отметить, что торрефикация представляет собой разновидность медленного пиролиза: от нескольких градусов до нескольких десятков градусов в минуту. В этом случае скорость нагрева практически не влияет на характеристики получаемых конечных продуктов.

4. Согласен, что следовало указать оборудование, с помощью которого были получены снимки: рентгеновский микроанализатор JCXA-733 «Superprobe», JEOL, Япония.

5. С замечаниями, связанными с некоторыми неточностями графического представления структуры основных органических составляющих биомассы, согласен. Большинство приведенных в работе данных взяты из книги Vasu [39].

Перейду к замечаниям по автореферату.

Ответы на замечания **Кузьмина Сергея Николаевича (ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»):**

1. В качестве универсального параметра предлагается использовать величину относительных массовых потерь в расчете на сухое беззольное состояние исходной биомассы, о чем написано на стр.18 автореферата.

Ответы на замечания **Герасимова Геннадия Яковлевича (Научно-исследовательский институт механики МГУ имени М.В. Ломоносова):**

1. Данное замечание аналогично замечанию ведущей организации и ответ на него был дан ранее.

2. Оценка энергетической эффективности реактора приведена в тексте диссертации и основана на известной тепловой мощности ГПУ, отходящие газы которой использовались в качестве теплоносителя, и производительности реактора.

3. С замечанием согласен, однако отмечу, что указанные характеристики отражены в тексте.

Ответы на замечания **Налётова Алексея Юрьевича (ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»):**

1. По моему мнению, замечание носит стилистический характер. Более конкретные формулировки приведены на стр. 18 и 19 автореферата при перечислении основных полученных результатов и выводов по работе.

2. Пилотная установка является универсальной с точки зрения использования различных видов гранулированного сырья. Поскольку величина экзоэффекта отличается для различных видов биомассы, при смене сырья необходимо подобрать частоту и объем выгрузки конечного продукта.

3. С замечанием согласен. В ряде случаев в тексте диссертации данные такой обработки приведены.

Ответы на замечания **Яворовского Юрия Викторовича (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»):**

1. В экспериментах на пилотной установке использовались только древесные пеллеты. Исходя из того, что при постоянной мощности ГПУ за счет использования экзоэффекта производительность реактора удалось повысить в три раза, долю тепла экзотермических реакций в энергетическом балансе процесса торрефикации можно оценить в 67%.

2. В работе рассмотрен энергетический баланс реактора торрефикации. Общие характеристики комплекса приведены в тексте диссертации. Целью этой части диссертации была демонстрация возможности реализации непрерывного режима работы реактора с использованием тепла экзотермических реакций. В качестве газообразного теплоносителя были использованы отходящие газы газопоршневого двигателя, входящего в состав электрогенерирующей установки. Использование иных типов ДВС или котлов выходило за рамки данной работы. Однако принципиальных ограничений на их использование нет, необходимо лишь обеспечить требуемые расход теплоносителя и его температуру.

Ответы на замечания **Зорина Александра Сергеевича и Табакаева Романа Борисовича (ФГАО ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»):**

1. Принятые в работе обозначения не противоречат используемым в научной литературе. Содержание летучих соединений определялось по ГОСТ Р 55660-2013, в качестве инструмента был использован термоанализатор SDT Q600. Теплота сгорания определялась двумя методами: с помощью калориметра сжигания БКС-2Х и на основе данных элементного анализа, согласно ГОСТ 147-2013 (ISO 1928-2009).

2. Для каждого из образцов были подготовлены представительные пробы: сырье предварительно размалывалось и подвергалось квартованию. Касательно оценки

погрешности: среднее квадратичное отклонение автоматически рассчитывалось с использованием программного обеспечения анализатора элементного состава.

3. С замечанием касательно несовпадения температур торрефикации согласен, однако стоит отметить, что температурный диапазон торрефикации был одинаков для всех рассмотренных видов сырья. Торрефикация, действительно, соответствует интервалу температур 200-300°C. Расширение температурного диапазона, в котором были проведены исследования, в частности для обоснования введения универсального параметра, продемонстрировало возможность его использования не только применительно к процессу торрефикации, но и процессу пиролиза в целом.

4. С замечанием согласен. Перечень патентов:

1) Устройство по торрефикации гранулированной биомассы с воздушным подогревом. Авторы: В.М. Зайченко А.В. Марков А.В. Морозов Г.А. Сычев А.Л. Шевченко. Дата публикации: 03.06.2019

2) Способ получения синтез-газа с заданным соотношением между объемным содержанием водорода и монооксида углерода путем многостадийной пиролитической конверсии биомассы. Авторы: Синельщиков В.А., Сычев Г.А. Дата публикации: 25.12.2018

3) Установка для торрефикации гранулированной биомассы. Авторы: Зайченко В.М., Косов В.Ф., Кузьмина Ю.С., Сычев Г.А. Дата публикации: 10.05.2016

Ответы на замечания **Щербакова Владимира Андреевича (Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН):**

1. Объемный выход синтез-газа связан с величиной массовых потерь или выходом летучих продуктов при торрефикации. Как видно из данных, приведенных в таблице 2 автореферата, максимальные массовые потери наблюдаются при торрефикации соломы, минимальные – при торрефикации древесины, что хорошо коррелирует с данными по объемному выходу, приведенными на рис. 10.

У меня всё.

### **Председатель**

Переходим к выступлениям официальных оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору технических наук профессору Косивцову Юрию Юрьевичу, Тверской Государственный Технический Университет. Пожалуйста.

### **Косивцов Ю.Ю.**

Здравствуйте, уважаемые коллеги еще раз. Я благодарю за возможность выступить в качестве оппонента на вашем совете. Естественно, я написал отзыв, я расскажу, как я вижу эту работу, и остановлюсь на замечаниях, которые у меня возникли, и вопросах. Вопросы энергоэффективности являются безусловно самыми актуальными в настоящий момент. Новые технологии сравнивают не по стоимости сырья, а по стоимости той энергии, которая была затрачена на их реализацию. Работа в данном случае направлена на улучшение потребительских качеств и энергетических характеристик топлива, в этом плане она безусловно актуальна. Вторая составляющая актуальности работы – это то, что данная работа направлена на использования вторичного сырья, отходов лесной промышленности, сельского хозяйства. Но в данной работе диссертант не сказал про экологический аспект данной проблемы, потому что его работа, в принципе, посвящена энергетике. Но надо еще сказать, что наряду с тем, что это – источник энергии, это еще и очень серьезный загрязняющий фактор окружающей среды. Подобные технологии, конечно, могут определенным образом способствовать решению таких проблем. Что касается научной новизны и практической значимости. По научной новизне возникают вопросы такие: действительно, скажем, производство древесного угля человечество знало, начиная с палеолита и по сути дела это процесс пиролиза. Но, тем не менее, у диссертанта

есть определенная научная новизна. Собственно, она заключается в том, что разработанный им комплекс позволил использовать экзотермические реакции, которые сопутствуют процессу термической деструкции гемицеллюлозы, что в свою очередь очень сильно снижает необходимые энергетические затраты на получение торрефицированных пеллет. Что касается практической значимости работы, она очевидна. Проведены испытания, которые я бы назвал опытно-промышленными (то есть это не просто лабораторная работа) на крупнотоннажной установке, которые показали эффективность этой технологии. Что касается научной составляющей, будем так говорить, то процесс торрефикации, процесс пиролиза (и сегодня возникали вопросы у членов совета по поводу выбора температур) – это совокупность очень многих реакций, которые протекают параллельно и это экзо- и эндотермические реакции. И если у нас выполняется закон сохранения энергии, у нас есть какое-то количество топлива, мы можем, внося дополнительную энергию, увеличить его теплотворную способность или наоборот, забрав какое-то количество энергии, снизить. Человечество иногда шло на такие затраты, допустим, процесс газификации, когда твердое топливо переводится в газообразное с потерей одной трети энергии, но это более удобная форма, что позволяет более эффективно потом это топливо использовать. Диссертант в своей работе предлагает использовать торрефицированные пеллеты. Эти пеллеты значительно превосходят по своим потребительским качествам те пеллеты, которые существуют, из «сырой» древесины, скажем так. И вот почему: во-первых, при торрефикации материалы биологического происхождения (солома, торф, щепа) меняют свое отношение к воде. И если торф является гидрофильным соединением, которое активно впитывает в себя воду за счет наличия у него Н-групп в своем составе, то торрефицированные пеллеты становятся гидрофобными, водоотталкивающими. Они не набухают в воде, не размокают, что позволяет значительно повысить их потребительские свойства и лучше хранить. И в итоге, экономически, эти пеллеты будут стоить дороже, но не потому дороже, что необходимо тратить какие-то деньги на их производство, то есть за счет себестоимости, а потому что рынок будет диктовать свои реалии, что подобное топливо более качественное и потребители, скорее всего, будут его более активно покупать, чем обычное твердое топливо. Вот, что касается составляющих этой работы в двух словах. Разумеется, автор провел весь комплекс исследований. Что касается самой диссертации, она достаточно классическая, 5 глав – стандартная кандидатская диссертация. Содержание работы, я думаю, знакомо всем членам совета, я не буду подробно останавливаться. Отдельно хотелось бы мне отметить публикации автора. У диссертанта 17 публикаций Scopus, что для кандидатской диссертации, будем так говорить, очень много. Кроме того, если посмотреть по этим публикациям, то там не просто первый квартиль, а есть достаточно топовые журналы, допустим, Fuel, который где-то в середине первого квартиля. То есть, это очень хорошие публикации, что лишний раз подчеркивает то, что данная работа нашла не только признание какое-то не только внутреннее, российское, но и достаточно высоко оценена международным сообществом.

Но как всегда, по работе у меня есть замечания. Замечаний много: есть вопросы и есть замечания.

Вопросы по диссертации.

**(Первый вопрос)** В таблице 2.2 приводятся свойства пеллет из разной биомассы, в том числе значение зольности. При этом пеллеты из соломы обладают зольностью в 7-18%, что является очень большим показателем для этого вида биомассы. Обычно зольность соломы не превышает 4мас.%. В связи с этим, возникает вопрос о природе этого явления (внесение неорганического связующего, аналитическая ошибка).

**(Второй вопрос)** На стр. 67 приводится методика исследования тепловых эффектов с помощью термоанализатора SDT Q600. Для исследования использовались образцы древесины дуба. Возникает вопрос об обоснованности такого выбора, в связи с незначительностью доли дубовых пеллет на рынке.

**(Третий вопрос)** На странице 70-71 автор указывает «При достижении температуры в 370°C гемицеллюлоза и целлюлоза практически полностью разложились, и лигнин остается единственной органической компонентой в составе образца. Его термораспад сопровождается значительным выделением тепла, приводящим к изменению знака эффективной теплоемкости». В связи с этим возникает вопрос, на чем основывается уверенность автора в том, что термический распад лигнина сопровождается значительным выделением тепла? Обычно разрыв химических связей происходит с существенной затратой энергии, даже если учесть возможность внутреннего самоокисления получающийся положительным тепловой эффект будет крайне небольшим.

**(Четвертый вопрос)** Улучшение потребительных свойств древесных пеллет, в том числе предотвращение изменения их влажности и размеров во время хранения, возможно не только методом термической обработки, но и гидрофобизацией поверхности путем пропитки. Возникает вопрос, имеет ли применение торрефицированных пеллет существенное преимущество по сравнению с гидрофобизированными?

**(Пятый вопрос)** На стр. 78 автор указывает «Еще раз отметим, что в разделе 3.2.1 было показано, что тепловая инерция пустого реактора и реактора, заполненного торрефицированными пеллетами, могла приводить к нагреву стенки после выключения нагревателя не более чем на 5°C, и этот нагрев продолжался не более 5 минут. Из вышесказанного следует, что рост температуры, наблюдаемый в пристеночной области (термопара T5 на рис. 3.7а), мог быть обусловлен только тепловыделением в процессе термической деструкции древесной биомассы». Возникает вопрос, насколько полученный вывод подтвержден данными термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии, так как, появление экзотермических эффектов также возможно в случае наличия остаточного кислорода?

Замечания по работе.

**(Первое замечание)** Доля современной литературы, выпущенной за последние пять лет, в списке литературных источников не превышает 10%.

**(Второе замечание)** В представленной работе приведено исследование торрефикации биомассы в том числе: древесины, соломы и торфа (стр. 47, рис 2.4) однако для торфа не приводится его вид (верховой, низовой, степень разложения), что важно для понимания данных термогравиметрии.

**(Третье замечание)** На рисунке 5.2 стр. 107 приведены данные по выходу монооксида углерода и водорода, однако в работе отсутствуют данные об общем составе газовой фазы, что необходимо для понимания возможности дальнейшей очистки и использования полученного водорода и монооксида углерода.

**(Четвертое замечание)** Введение диссертации полностью копирует вводную часть автореферата. Если для научной новизны и практической значимости это обосновано, то какой смысл указывать в диссертации, какой она имеет объем и сколько содержит таблиц и литературных источников, остается неясным.

**(Пятое замечание)** В таблице 2 (стр. 54) не следовало в заголовках использовать акроним *daf* или приписку *dry* – в таблице достаточно места для полного названия «Массовые потери на сухое беззольное состояние, %» и «Элементный состав на сухое состояние, масс. %».

**(Шестое замечание)** На оси ординат графика на рисунке 2.8а (а также в таблице 2, стр. 54) не указана размерность теплоты сгорания. Следует писать « $Q_L$ , МДж/кг».

Отмеченные замечания не снижают высокий уровень работы.

Диссертация Сычева Г.А. является завершённой научно-исследовательской квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Основные результаты работы в полной мере отражены в автореферате и публикациях автора. Работа полностью соответствует требованиям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения степеней №842 от 24.09.2013 г., а её автор Сычев Георгий

Александрович заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Если ко мне есть вопросы, я тоже готов на них ответить.

### **Председатель**

Спасибо, Юрий Юрьевич, за глубокий анализ, выполненный вам по данной диссертационной работе, за замечания, которые прозвучали. Уважаемые коллеги, есть вопросы к оппоненту? Если вопросов нет, тогда, Георгий Александрович, вам предоставляется слово для ответа на прозвучавшие замечания.

### **Сычев Г.А.**

Ответы на вопросы по диссертации.

**(Первый вопрос)** В таблице 2.3 приведена зольность исходных и торрефицированных пеллет. Зольность исходных пеллет из соломы составила ~7%, что в целом не противоречит данным из открытых источников (овес – 7,2 %, ячмень – 6,5%). Величина зольности торрефицированной биомассы растет с увеличением температуры торрефикации ввиду роста массовых потерь (18% при массовых потерях 62%).

**(Второй вопрос)** Дуб был использован в экспериментах, потому что в тот момент имелся в распоряжении. Следует отметить, что качественная картина проявления экзотермического эффекта для различных сортов древесины одинакова, количественные различия определяются соотношением основных органических составляющих (гемицеллюлоза, целлюлоза, лигнин) в исследуемом образце.

**(Третий вопрос)** Утверждение основано на сопоставлении результатов термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии. Имелось в виду, что экзоэффект соответствует температурной области, в которой происходит термическая деструкция лигнина, и связан не с процессами разрыва химических связей, а с вторичными процессами, протекающими в этом температурном диапазоне. Значительный экзоэффект, связанный с термораспадом лигнина наблюдался и в ряде других работ, в частности, Bilbao (1996) и Di Blasi (2001). У Bilbao он составлял 353 кДж/кг, что слегка превышает удельную теплоту плавления льда.

**(Четвертый вопрос)** Торрефикация имеет заметные преимущества перед гидрофобизацией. Пропиточные смеси зачастую состоят из молекул большого размера и заполняют лишь относительно крупные поры, что не позволяет в полной мере устранить высокую гигроскопичность растительного биотоплива. Кроме того, по сравнению с гидрофобизацией, торрефикация позволяет не только придать гидрофобные свойства, но и увеличить удельную теплоту сгорания и снизить энергопотребление на размол.

**(Пятый вопрос)** Если говорить о температурном диапазоне, соответствующем распаду гемицеллюлозы и сопровождающем его экзотермическом эффекте, то полученный на лабораторном стенде результат находится в качественном согласовании с данными термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии. Непосредственно перед экспериментом на лабораторном стенде осуществлялась продувка всего газового тракта и реактора азотом. На выходе из газового тракта после реактора был установлен газоанализатор, согласно показаниям которого, при  $O_2=0\%$  продувка завершалась, а газовые линии перекрывались.

Ответы на замечания по диссертации.

**(Первое замечание)** С замечанием согласен. В свое оправдание могу сказать, что доля цитируемых литературных источников, выпущенных за последние 10 лет, в списке литературы составляет 40%.

**(Второе замечание)** Эксперименты проводились с торфяными пеллетами, для производства которых обычно используется верховой торф со степенью разложения не более 20%.

**(Третье замечание)** Как было показано в работах ОИВТ РАН ранее, при

использовании метода двухстадийной пиролизической конверсии доля  $\text{CO}+\text{H}_2$  составляет более 90%, а содержание смол в получаемой газовой смеси не превышает значения в  $50 \text{ мг/м}^3$ . Согласен, что об этом следовало сказать.

*(Четвертое замечание)* С замечанием по оформлению согласен.

*(Пятое замечание)* С замечанием по оформлению согласен.

*(Шестое замечание)* С замечанием по оформлению согласен.

### **Председатель**

Идем дальше по повестке. Слово предоставляется официальному оппоненту к.т.н. Литуну Дмитрию Степановичу, ОАО ВТИ.

### **Литун Д.С.**

Добрый день, уважаемые коллеги. С вашего позволения, остановлюсь на основных моментах, которые, с моей точки зрения, важны для оценки диссертации. По поводу актуальности работы: она определяется, с одной стороны, расширением использования местных топлив для нужд локальных потребителей тепловой и электрической энергии, а с другой стороны, – возрастающим во всем мире интересом к возобновляемым источникам энергии, среди которых традиционно значительное место занимает биомасса, в том числе и пеллетированное и гранулированное топливо. Для России характерно два направления ее использования: сжигание в малых котельных в водогрейных котлах и на крупных ТЭЦ предприятий целлюлозно-бумажной промышленности и лесоперерабатывающего комплекса. В последнем случае это, как правило, сжигание в котлах с кипящим слоем коро-древесных отходов и щепы. Пеллетированное топливо в основном используется как местное топливо в малых котлах, несмотря на то, что по своим характеристикам это топливо потенциально может быть использовано в энергетике, в тепловых электрических станциях для совместного сжигания с угольным топливом в крупных энергетических действующих котлах с факельным сжиганием. И такой положительный опыт есть. Ограничения в использовании пеллетированного топлива в энергетике связаны, в том числе, с тем, что характеристики пеллет, а именно высокая гигроскопичность, накладывают определенные ограничения на условия транспортировки и хранения этого вида топлива. И как раз разработка эффективной технологии торрефикации биомассы позволяет преодолеть эти ограничения, повысить энергетическую ценность пеллетированного биотоплива и улучшить его потребительские свойства. Поэтому с точки зрения актуальности диссертационная работа сомнений не вызывает. Работа обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью, получены новые экспериментальные результаты, касающиеся влияния режимных параметров процесса торрефикации на характеристики топливных пеллет, предложен универсальный критерий для сопоставления этих характеристик и продемонстрирована возможность использования тепла экзотермических реакций разложения древесины для интенсификации процесса торрефикации. На мой взгляд, эти результаты имеют не только теоретическое, но и прикладное значение, они могут быть использованы при проектировании новых энергетических установок на основе процесса торрефикации и предложенного энерготехнологического комплекса. Я хотел бы также отметить ценность экспериментально доказанной автором возможности получения синтез-газа из торрефицированных пеллет с соотношением водорода к монооксиду углерода в диапазоне от 1 до 2, это позволяет использовать синтез-газ для получения путем химической переработки ценного сырья, моторного топлива, с помощью отработанных уже известных технологий, например, процесса Фишера-Тропша. И в целом, я бы рассматривал диссертацию, как хорошую научную базу, для разработки такой перспективной технологии, включающей в себя реактор торрефикации, предложенный энерготехнологический комплекс и использования пиролизера для улучшения характеристик пиролизного газа. Результаты работы прошли достаточно широкую

апробацию, представлен, на мой взгляд, внушительный список международных конференций, на которых были сделаны доклады по теме диссертации. О списке статей уже говорилось, очень серьезные журналы, 17 статей, в том числе во Fuel, Journal of Physics, Chemical Engineering Transactions. На мой взгляд, добротное и качественное экспериментальное исследование, выполненное на высоком научном уровне, характерном для экспериментальных работ ОИВТ РАН

По тексту есть ряд замечаний принципиального характера.

**(Первое замечание)** Обосновывая во введении актуальность выбранной темы диссертации, соискатель утверждает, что в настоящее время наиболее распространенным форматом топлива из биомассы являются гранулы или пеллеты. Этот тезис представляется спорным. Если исходить из общего количества энергоиспользуемых топлив из биомассы, основную её часть составляет не переработанная в пеллеты и гранулы древесина, сжигаемая в котлах с кипящим слоем (коро-древесные отходы, щепы), которая в соответствии с классификацией международной Единой Биоэнергетической Терминологии (UBET) также является биотопливом. В первую очередь это относится к России, где основное производство энергии из биомассы приходится на долю ТЭС предприятий целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности.

**(Второе замечание)** На стр. 44 представлены результаты определения теплот сгорания исследованных биотоплив калориметрическим методом и с использованием результатов определения элементного состава (по формуле Менделеева). Расхождение между соответствующими значениями теплот сгорания превышает допустимое для формулы Менделеева в случае малозольных топлив значение 630 кДж/кг. Для древесных пеллет оно составляет 1300 кДж/кг (в два раза выше допустимого). Это может быть следствием, как погрешностей использованного лабораторного оборудования, так и методическими погрешностями (отступление от требований к подготовке проб и т. п.). В дальнейшем автор использует для обработки и анализа результатов экспериментов значения теплот сгорания, полученные с помощью формулы Менделеева. В таких случаях, если невозможно добиться удовлетворительной сходимости калориметрического и элементного анализа, рекомендуется использовать значение, полученное калориметрическим методом.

**(Третье замечание)** На стр. 56 из представленных в таблице 2.3 результатов определения теплотехнических свойств исходных и торрефицированных пеллет автор заключает, что наибольшие массовые потери наблюдались для древесных пеллет, наименьшие для пеллет из торфа. Это вывод вызывает сомнение. Будучи справедливым для торрефицированных пеллет полученных при температуре процесса  $t = 350^{\circ}\text{C}$ , он не выглядит очевидным для других значений температуры. При  $t = 270^{\circ}\text{C}$  потеря массы соломенных пеллет превышает потерю массы древесных пеллет, а при  $t = 250^{\circ}\text{C}$  потери массы торфяных пеллет больше чем у древесных, полученных при более высокой температуре ( $t = 270^{\circ}\text{C}$ ). Точно также потери массы соломенных пеллет при  $t = 300^{\circ}\text{C}$ , больше потерь массы древесных пеллет при  $t = 310^{\circ}\text{C}$ . Анализ влияния свойств исходного сырья на теплотехнические свойства торрефицированных пеллет затрудняет то, что промежуточные значения температуры процесса для всех трех видов пеллет не совпадают. Не понятно, почему для исследований всех трёх видов биомассы не был выбран один и тот же ряд значений температур?

**(Четвертое замечание)** В диссертации значительное место занимают исследования влияния температуры и потери массы на эффективную теплоёмкость материала пеллет в процессе термораспада. Эффективная теплоёмкость определяется как косвенно измеряемая величина по результатам прямых измерений теплового потока  $q$ , темпа нагрева  $\delta T = \Delta T / \Delta t$  и текущей массы образца  $m(T)$ . Исследование выиграло бы, если бы автор выполнил оценку погрешности определения эффективной теплоёмкости в соответствии с существующими методическими рекомендациями по расчёту погрешностей определения косвенно измеряемых величин.

**(Пятое замечание)** В тексте диссертации и автореферата встречаются неточности и опечатки. Например, в автореферате на рис. 11б неверно указано название оси ординат (рисунок показывает зависимости от величины массовых потерь удельного объёма синтез-газа, а не соотношения  $H_2/CO$ , как указано на рисунке), в заголовках разделов 5.2 и 5.3 очевидно пропущено слово «получение», грамматические ошибки на стр. 59 и 87.

Приведенные замечания не затрагивают существа основных положений и выводов диссертации. Диссертация Сычева Г.А. является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научно-техническом уровне, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и научно обоснованы теоретические положения и технические разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (п. 9), а ее автор, Сычёв Георгий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01– «Энергетические системы и комплексы».

### **Председатель**

Спасибо, Дмитрий Степанович, за емкий отзыв, прозвучавшие замечания. Уважаемые коллеги, может быть, есть вопросы к оппоненту? Если вопросов нет, тогда, Георгий Александрович, вам предоставляется слово для ответа на прозвучавшие замечания.

### **Сычев Г.А.**

Ответы на замечания.

**(Первое замечание)** С замечанием, в принципе, согласен. Пеллеты рассматриваются как стандартизированный и унифицированный вид биотоплива и, по моему мнению, наиболее перспективный.

**(Второе замечание)** Величина допустимого различия в 630 кДж/кг соответствует нормативам, применяемым в методиках теплового расчета котлов. Отмечу, что расхождение в 1300 кДж/кг между рассчитанными и измеренными значениями теплоты сгорания в данной работе не превышало 6%. По-видимому, действительно в дальнейшем следовало использовать измеренные значения, хотя качественно это не влияет на сделанный в работе вывод.

**(Третье замечание)** Что касается величины массовых потерь, в тексте допущена стилистическая неточность: имелись в виду массовые потери при максимальной температуре торрефикации. Со второй частью замечания согласен, однако, стоит отметить, что температурный диапазон торрефикации был одинаков для всех рассмотренных видов сырья.

**(Четвертое замечание)** С замечанием согласен. Инструментальная погрешность определения эффективной теплоёмкости, исходя из паспортных данных термоанализатора, не превышала 4% (2% – погрешность измерения теплового потока, 1% – погрешность определения массы, менее 1% – погрешность измерения температуры).

**(Пятое замечание)** С замечанием по оформлению согласен.

### **Председатель**

Переходим к следующему пункту повестки – это дискуссия присутствующих. Поскольку у нас онлайн еще есть желающие выступить, я, со своей стороны, начну, два слова тоже скажу. Лично для меня вопрос о голосовании понятен, я буду поддерживать работу. Уровень исследований определяется несколькими составляющими. Вы видели, насколько квалифицированными были здесь ответы диссертанта на все многочисленные прозвучавшие вопросы. Количество прозвучавших вопросов и в письменных отзывах и во

время очной дискуссии подтверждает лишь то, что диссертация является действительно актуальной для российской энергетики. Та школа, которая сложилась у нас в институте, возглавляемая научным руководителем Зайченко В.М., она известна не только в институте, не только в Российской Федерации, но и за её пределами, это тоже большинству присутствующих совершенно ясно. Та команда молодежная, которая сложилась буквально за несколько лет, мы видим, какие защиты были по близким тематикам этого научного направления. Поэтому я думаю, что вопрос для меня ясен, всех призываю тоже поддержать данное исследование. Кто хочет выступить?

### **Зейгарник В.А.**

Я хотел бы один призыв сделать, не в порядке претензии к диссертанту сегодняшнему. Может быть, в дальнейшем и ему лаборатории в целом выработать доказательный четкий ответ на энергетическую и термическую эффективность этих процессов. Потому что сегодня, если честно говорить, ответом на этот вопрос был явно уход.

### **Председатель**

Олег Сергеевич, пожалуйста.

### **Попель О.С.**

Я бы тоже хотел два слова, а то может показаться, что я критически как-то выступаю. На самом деле, работа безусловно соответствует всем критериям и всем требованиям: и по содержанию, и по новизне, и по актуальности, и по публикациям – по всем этим формальным критериям она соответствует. Но я хотел присоединиться к Владимиру Альбертовичу. Это уже не первая диссертация, в которой вот эти принципиальные вопросы, связанные с тепловыми и энергетическими балансами, как-то обходятся и затуманиваются или руки не доходят. Но в этом надо в первую очередь разобраться. Возвращаясь опять же к тому графику, который мы рассматривали. Мне казалось, что здесь задачу можно было бы поставить очень интересным образом. Какой-то диапазон температурный торрефикации и время выдержки позволяет решить проблему, например, снижения гигроскопичности. Это в одном диапазоне режимов решается задача. Вторая задача – повышение удельной энергоёмкости – это какой-то другой и третий. Тем самым у вас получается весь энергетический баланс, а задача разбивается на три подзадачи, и вы нащупываете оптимальные области всего этого процесса. И в конечном итоге результат становится более понятным и практически значимым. Хотелось бы в качестве пожелания: задумываться не только над проведением тщательных исследований, но и над ожидаемым «сухим остатком», что является результатом всех этих работ. А, как всегда, «сухой остаток» положительный – это эти принципиальные вопросы, важные для потенциального потребителя. Конечно, голосовать буду и всех призываю «За» поддержку этой работы.

### **Председатель**

Так, может быть кто-то еще? Пожалуйста, Леонид Бенцианович.

### **Директор Л.Б.**

Я бы хотел отметить три момента. Во-первых, понятно, что пока речь идет об использовании подобных технологий в малой энергетике, хотя второй оппонент и говорил о том, что есть возможность использования в больших котлах при совместном сжигании с углем. Но, тем не менее, все-таки речь идет о малой энергетике. И действительно, в малой энергетике есть не такое большое количество ниш, где эта технология может быть использована. Сегодня это прозвучало, но, наверное, не очень подробно, что установка работает в составе комплекса энерготехнологического, в котором использовалось

практически бросовое тепло от газопоршневого электроагрегата. По сути, реализован принцип когенерации. Если мы привыкли к принципу когенерации в отношении таких мини-ТЭЦ, когда производится электричество и тепло, то в данном случае производится электричество и новый вид топлива. Кстати, это не исключает в случае избытка тепла и тригенерацию в такой схеме реализовывать. Тепло, которое, в общем-то, бесплатно. Это не снимает вопроса о всяких энергозатратах, но, тем не менее, это надо учитывать. Второе, что я хотел бы сказать. Виктор Михайлович говорил, что мы долго ждали защиты. На самом деле, все эти восемь лет Георгий Александрович обеспечивал аналитические исследования практически по всем работам, которые ведутся в лаборатории: по Госконтрактам, по Соглашениям, по договорам, по РФФИ. Почти вся аналитическая база, которая у нас на высоком современном уровне, была, по сути, под его началом. И этой работы было очень много. И квалификация у него в этом плане, не только по работе на тех аппаратах, которые представлены в диссертации, но и на других аналитических современных приборах очень высокая. И последнее, что я хотел бы отметить. Буквально на днях, в конце прошлой недели были подведены итоги конкурса Ассоциации Малой Энергетики (международный комплекс проектов) и проект нашего института, в который вошла большая часть диссертационных исследований, занял на этом престижном конкурсе третье место, в чем роль Георгия Александровича достаточно большая. Ну и я, естественно, призываю всех голосовать «За», потому что, по крайней мере, как квалификационная работа она не вызывает сомнений и результаты, полученные имеют определенную научную и практическую ценность. Спасибо.

#### **Председатель**

Спасибо, Леонид Бенцианович.

#### **Попель О.С.**

Два слова хотел добавить про международный конкурс. Я смотрел по интернету международный конкурс, где принимали участие и иностранные компании малой энергетики. В основном все на Jenbacher'е было зациклено. И, конечно, было приятно, что работа нашего института была отмечена третьей премией, хотя первые две, по-моему, получили немцы. Это первая вещь, которую я хотел сказать, это в определенной степени – показатель достижений института. Но вот что касается когенерации. Все-таки торрефикация и улучшение качества пеллет, наверное, сложно связывать с газопоршневыми установками. Не хватит газопоршневых установок, чтобы в этом режиме производить такой объем пеллет, который востребован. Это принципиально возможно, но это маленькая толика.

#### **Зайченко В.М.**

Позвольте чуть-чуть

#### **Председатель**

Да, Виктор Михайлович.

#### **Зайченко В.М.**

Я хотел бы ответить на вопрос коллеги про углежжение. Металлургия 17-19 веков связана с процессом углежжения. Делалось так, чтобы вызвать экзотермическую реакцию и получить древесный уголь. На этом всем построено получение до 20 века древесного угля. В 1874 году получен патент на пиролиз, до этого 50 лет существовала газификация. Вот в газификации и в пиролизе вот этого экзотермического тепла в современных процессах нет. Примерно 25 лет весь мир усиленно работает над торрефикацией, почему? Это получение качественного твердого топлива. Для чего это нужно нам – мы в этом году собрали 131 млн. тонн зерновых – это 180-185 млн. тонн соломы. Ну, хотя бы половину

мы сожжем. 90 млн. тонн торрефицированного продукта на месте, никуда не надо возить – это в три раза больше, чем дает Канско-Ачинский бассейн (Экибастузский – больше). Нам необходимо и всему миру необходимо это сделать. Почему не получилось? Потому что затраты на торрефикацию не окупаются использованием торрефицированного топлива. Мы научились, Гоша про это не говорил практически вообще, использовать экзотермический эффект. И мы пойдем немножко дальше, мне также кажется, в дальнейшем там процессы пиролиза, процессы газификации с использованием вот этих подходов.

Спасибо.

### **Председатель**

Уважаемы коллеги, у нас есть желающие выступить в дискуссии среди тех членов, которые присутствуют в онлайн-заседании. Георгий Анатольевич, слышно?

### **Кобзев Г.А.**

Хотел бы голос от потребителя из глухой деревни в 200 км от Москвы. Я постоянно использую биотопливо, в том числе и последние 5 минут, чтобы не замерзнуть в доме. Это такая полшутка. Но если говорить про работу в целом и о впечатлении от нее, то диссертант произвел на меня впечатление очень хорошее, работа, конечно же, нужная. Те вопросы, которые эксперты добавляли к его рассказу, об экономике, они, конечно, справедливы и имеют место. Но это именно мое впечатление от диссертации. Я буду голосовать «За».

### **Председатель**

Спасибо, Георгий Анатольевич. Есть ли еще желающие выступить среди тех, кто онлайн работает? Будем считать, что нет. Теперь, Георгий Александрович, вам предоставляется кратенькое заключительное слово.

### **Сычев Г.А.**

Спасибо за предоставленную возможность выступить с последним словом. Конечно, это слова исключительной благодарности моему научному руководителю, заведующему нашей лабораторией Зайченко В.М. за необозримый простор для фантазии, в котором можно что-то сделать и воплотить в работу, которую можно представить тут (*на совете*). Также хотел бы поблагодарить В.А. Синельщикова за плотную работу, оттачивание формулировок, за то, что он всегда идет навстречу и готов помочь, Л.Б. Директора за превосходную поддержку как в редакции, так и формалистике, касающейся и нормативных документов, и остроты форм автореферата и самой диссертации. Хочу отметить, как сказал Алексей Юрьевич, наш штат молодых сотрудников достаточно большой и продуктивный. Хочу отметить штат инженеров нашей лаборатории – это В.А. Суслов, А.В. Морозов, А.И. Цыплаков, А.В. Марков и М.Д. Пчелкин, благодаря золотым рукам которого установка может иногда работать в полуавтоматическом режиме, когда мы ее запускаем, а также за такое глубокое знание инженерной, но все-таки науки. Также, я всегда надеялся, что диссертацию я допишу и привнесу на свет раньше, чем у меня родится сын, но не удалось ввиду некоторых проблем. Поэтому также благодарность моей семье за то, что меня терпят в это не очень простое время и написания, и подготовки к защите. Очень сумбурно, мысли путаются, но всю сосредоточенность потратил на доклад. Спасибо большое.

### **Председатель**

Спасибо, теперь у нас процедура голосования предстоит. Формат заседания не подразумевает проведения тайного голосования, поэтому голосование у нас будет открытое, счетную комиссию мы не избираем, по Положению считает все или

Председатель, или тот, кому он поручит это. Я Семену Ефимовичу поручаю. Семен Ефимович, я вас назначаю главным по подсчету голосов. Сейчас мы будем голосовать: сначала мы проголосуем те, кто присутствует очно, потом мы опросом сделаем тех, кто онлайн (*Проводится процедура открытого голосования*)

### Председатель

Семен Ефимович, вам слово.

### Ученый секретарь

Уважаемые коллеги, разрешите огласить результаты голосования. Проголосовало 9 человек очно и 9 человек удаленно. Все проголосовали «За» единогласно.

### Председатель

Уважаемые члены совета, нам нужно утвердить результаты голосования. Кто за? Все «За». Поэтому, Георгий Александрович, от всей души поздравляю вас с блестящей защитой, также желаю успехов в ближайшем будущем, чтобы все это продолжали, чтобы вам хватило в наше непростое время здоровья, материальных возможностей, крепких нервов, чтобы ваши работы продолжались, поскольку я считаю, что они являются очень нужными не только нашему институту, но и в мировом масштабе. Поздравляю вас.

Но нам еще нужно утвердить Проект Заключения, он распечатан, у всех на руках, и разослан электронной почтой. Есть ли у кого-то какие-либо замечания по Заключению? (*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*).

### Председатель

Если замечаний принципиального характера нет, тогда есть предложение: тот Проект, который есть у нас перед глазами, принять за основу и проголосовать за него тоже, утвердить проект Заключения (*Проект заключения принят единогласно*). Тогда, уважаемые коллеги, от своего собственного лица и от лица всего диссертационного совета в это непростое время я благодарю всех, кто присутствует очно или участвует онлайн, поскольку мероприятие состоялось, всех уже готов поздравить с наступающими новогодними праздниками, потому как остается чуть больше двух недель этого тяжелого года, каким будет следующий никто не знает, но, тем не менее, призываю с оптимизмом смотреть в будущее, а вам искренняя благодарность, я думаю, что совет будет продолжать свои заседания в любом случае. Всем здоровья, крепких нервов.

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

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
дата защиты 15.12.2020 протокол № 3

о присуждении **Сычеву Георгию Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «**Экспериментальные исследования особенностей процесса торрефикации биомассы растительного происхождения**» в виде рукописи, по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы, принята к защите 14.10.2020 г. (протокол № 2) диссертационным советом Д 002.110.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного

института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 75/нк от 15.02.13 г.

Соискатель **Сычев Георгий Александрович**, 1989 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Работает научным сотрудником в лаборатории №12 – распределенной генерации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории №12 – распределенной генерации ОИВТ РАН.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, старший научный сотрудник **Зайченко Виктор Михайлович**, заведующий лабораторией №12 – распределенной генерации ОИВТ РАН.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук **Косивцов Юрий Юрьевич**, профессор кафедры биотехнологии, химии и стандартизации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет» (170026, Тверская область, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22);

кандидат технических наук **Литун Дмитрий Степанович**, старший научный сотрудник лаборатории специальных котлов Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ») (115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14) дали положительный отзыв на диссертацию.

**Ведущая организация:**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"** (123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1) в своем положительном заключении, принятом на научном семинаре Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт» 17 ноября 2020 г. (протокол № 6 от 17 ноября 2020 г.), составленном заместителем начальника отдела биотехнологий и биоэнергетики Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт» к.т.н. Готовцевым Павлом Михайловичем (утверждено заместителем директора по научной работе НИЦ «Курчатовский институт» Форшем П.А.), указала, что диссертация выполнена на актуальную тему, результаты, полученные лично диссертантом, способствуют развитию малой энергетики и могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и конструкторских организациях: ОАО «Продмаш», ООО «Энергонезависимость» и др.

**Результаты работы опубликованы** в 17 научных статьях в журналах, входящих в реферативные базы данных Scopus и Web of Science, из которых 5 статей – в журналах из перечня ВАК. Перечень работ:

1. Kosov, V.V. Effect of torrefaction on properties of solid granulated fuel of different biomass types / V.V. Kosov, V.A. Sinelshchikov, **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // High Temperature. – 2014. – Vol. 52. – № 6. – P. 907-912. DOI: 10.1134/S0018151X14060170.
2. Зайченко, В.М. Энергетическая утилизация древесных отходов / В.М. Зайченко, **Г.А. Сычев** // Энергетик. – 2015. – № 10. – С. 48-50.
3. Kuzmina, J.S. Upgrading of consumer characteristics of granulated solid fuel from mixture of low-grade coal and biomass / J.S. Kuzmina, ..., **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // Journal of

Physics: Conference Series. – 2015. – Vol. 653. – № 1. – 012030. DOI: 10.1088/1742-6596/653/1/012030.

4. Kuzmina, J.S. Torrefaction. Prospects and application / J.S. Kuzmina, **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // Chemical Engineering Transactions. – 2016. – Vol. 50. – P. 265-270. DOI: 10.3303/CET1650045.

5. Kosov, V.F. Challenges and opportunities of torrefaction technology / V.F. Kosov, J.S. Kuzmina, **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 774. – № 1. – 012139. DOI: 10.1088/1742-6596/774/1/012139.

6. Larina, O.M. Comparison of thermal conversion methods of different biomass types into gaseous fuel / O.M. Larina, V.A. Sinelshchikov, **G.A. Sytchev** // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 774. – № 1. – 012137. DOI: 10.1088/1742-6596/774/1/012137.

7. Lavrenov, V.A. Two-stage pyrolytic conversion of different types of biomass into synthesis gas / V.A. Lavrenov, O.M. Larina, V.A. Sinelshchikov, **G.A. Sytchev** // High Temperature. – 2016. – Vol. 54. – № 6. – P. 892-898. DOI: 10.1134/S0018151X16060092.

8. Faleeva, J.M. Exothermic effect during torrefaction / J.M. Faleeva, V.A. Sinelshchikov, **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 946. – № 1. – 012033. DOI: 10.1088/1742-6596/946/1/012033.

9. **Sytchev, G.A.** Plant origin biomass torrefaction process. Investigation of exothermic process during torrefaction / G.A. Sytchev, V.M. Zaichenko // European Biomass Conference and Exhibition Proceedings. – 2018. – P. 1236-1239. DOI: 10.5071/26thEUBCE2018-3DV.6.15.

10. Shevchenko, A.L. Possibility of the use of exothermic-reactions heat from thermal destruction of biomass to increase the energy efficiency of the torrefaction process / A.L. Shevchenko, **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1147. – № 1. – 012093. DOI: 10.1088/1742-6596/1147/1/012093.

11. Isemin, R. Application of torrefaction for recycling bio-waste formed during anaerobic digestion / R. Isemin, D. Klimov, O. Larina, **G. Sytchev** [et al.] // Fuel. – 2019. – Vol. 243. – P. 230-239. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.01.119.

12. Shevchenko, A.L. Assessment of efficiency and operating optimization of biomass torrefaction unit. Solution for exothermic effect using / A.L. Shevchenko, **G.A. Sytchev**, V.M. Zaichenko // European Biomass Conference and Exhibition Proceedings. – 2019. – P. 1195-1198. DOI: 10.5071/27thEUBCE2019-3BV.2.8.

13. Zaichenko, V.M. Thermal Effects during Biomass Torrefaction / V. M. Zaichenko, A. Y, Krylova, **G.A. Sytchev** [et al.] // Solid Fuel Chemistry. – 2020. – Vol. 54. – P. 2288-231. DOI: 10.3103/S0361521920040084.

14. Direktor, L.B. Thermophysical Properties of Volatile Products of Low-Temperature Pyrolysis of Wood Biomass / L.B. Direktor, V.A. Sinelshchikov, **G.A. Sytchev** // High Temperature. – 2020. – P. 50-53. DOI: 10.1134/S0018151X20010046.

15. Larina, O.M. Research of technologies of local fuel and energy resources using for distributed power generation / V. M. Zaichenko, O.M. Larina, **G.A. Sytchev** // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1556. – № 1. – 161646. DOI: 10.1088/1742-6596/1556/1/012019.

16. Kienzl, N. Applicability of Torrefied Sunflower Husk Pellets in Small and Medium Scale Furnaces / N. Kienzl, N. Margaritis, R. Isemin,... **G. Sytchev** [et al.] // Waste and Biomass Valorization. – 2020 [В печати]. DOI: 10.1007/s12649-020-01170-7.

17. Larina, O.M. Investigation of combustion characteristics of mixed fuel of biomass and coal sludge / O.M. Larina, V.A. Sinelshchikov, **G.A. Sytchev** // Chemical Engineering Transactions. – 2020. – Vol. 80. – P. 205-210. DOI: 10.3303/CET2080035.

Получено два патента на изобретение и один патент на полезную модель, разработанные в рамках диссертационного исследования при непосредственном участии Сычева Г.А.:

1. Установка для торрефикации гранулированной биомассы: пат. 161775 (U1) РФ: МПК В27М 1/06, F27В 1/00 / Зайченко В.М., Косов В.В., Кузьмина Ю.С., **Сычев Г.А.**;

патентообладатель ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН); заявл. 06.10.2015; опубл. 10.05.2016; № 13 (РФ). – 2 с.: 1 ил.

2. Способ получения синтез-газа с заданным соотношением между объемным содержанием водорода и монооксида углерода путем многостадийной пиролизической конверсии биомассы: пат. 2675864 (С1) РФ: МПК С10J 3/00, С10В 47/00, С08J 11/00 / Синельщиков В.А., **Сычев Г.А.**; патентообладатель ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН); заявл. 03.10.2017; опубл. 25.12.2018; № 36 (РФ). – 6 с.: 1 табл.

3. Устройство по торрефикации гранулированной биомассы с воздушным подогревом: пат. 2690477 (С1) РФ: МПК С10J 3/00 / Зайченко В.М, Марков А.В., Морозов А.В., **Сычев Г.А.**, Шевченко А.Л.; патентообладатель ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН); заявл. 06.04.2018; опубл. 03.06.2019; № 16 (РФ). – 6 с.: 1 ил.

На автореферат **поступили отзывы:**

К.т.н., доцент **Кузьмин С.Н.**, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника» **ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»** (392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д.112-А) – отзыв положительный, с замечаниями:

В тексте автореферата следовало бы дать более четкое определение универсального параметра (массовые потери в процессе торрефикации биомассы) для сопоставления прогнозируемых свойств твердого остатка.

Д.т.н. Герасимов Геннадий Яковлевич, ведущий научный сотрудник лаборатории кинетических процессов в газах **Научно-исследовательского института механики МГУ имени М.В. Ломоносова** (119192, г. Москва, Мичуринский пр., д. 1) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Из текста автореферата не понятно, какую роль сыграли данные, полученные на лабораторном оборудовании и экспериментальной установке с неподвижным слоем, при разработке и создании когенерационного комплекса для торрефикации растительной биомассы.
2. Из текста автореферата не ясно, каким образом проводилась оценка энергетической эффективности реактора для торрефикации биомассы: представлены только результаты сопоставления производительности установки при двух режимах работы.
3. В таблице 5 следовало бы отразить также характеристики функционирования реактора для торрефикации (например, производительность или коэффициент энергоэффективности).

Д.т.н., профессор **Налетов А.Ю.**, профессор кафедры «Химическая технология углеродных материалов» **ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»** (125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Желательно излагать научную новизну работы в более конкретном виде (стр. 4 автореферата). Например, получены новые экспериментальные результаты (п. 1) ..., которые позволяют ... (далее должен идти смысл полученных результатов, что, собственно, и является научной новизной). Или получен универсальный критерий (п. 2)... (далее желательно отразить какой критерий и в чем его универсальность). Также желательно в разделе практическая значимость работы (стр. 4 автореферата) привести конкретные цифры, например, в п. 1 – насколько удалось снизить удельное энергопотребление?
2. Из текста автореферата (стр. 4 практическая значимость п. 1) не ясно, являются ли предложения по непрерывному процессу торрефикации гранулированной биомассы универсальными для всех ее видов, полученных из древесины, торфа или соломы.
3. При аппроксимации результатов экспериментов (рис. 1, 2, 3, 11 автореферата) необходимо проводить их статистическую обработку и представлять на графиках доверительные интервалы.

К.т.н., доцент **Яворовский Ю.В.**, заведующий кафедрой промышленных теплоэнергетических систем **ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»** (111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Автором работы экспериментально доказана возможность интенсификации процесса торрефикации за счет использования тепла экзотермических реакций. Однако остается неясным, какую долю в энергетическом балансе установки торрефикации биомассы занимают данные реакции, и как эта доля варьируется в зависимости от режимов и/или вида сырья.
2. В автореферате отсутствует энергетический баланс пилотной установки для торрефикации биомассы (не известен расход природного газа, электрическая мощность газопоршневой установки и пр.), и не обоснована компоновка данной установки с точки зрения энергетических и/или экономических показателей. К примеру, не рассмотрены варианты замещения газопоршневой установки на газотурбинную или твердотопливный котел с разработкой оптимальной компоновки для различных предприятий или регионов страны.

Д.т.н., профессор **Зорин А.С.**, заведующий кафедрой – руководитель научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики **ФГАО ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»** и к.т.н. **Табакеев Р.Б.**, научный сотрудник научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики **ФГАО ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»** (634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Некоторые обозначения теплотехнических характеристик не соответствуют общепринятым. Например, выход летучих веществ обозначается как “ $V_{Pл}$ ”, низшая теплота сгорания “ $Q_n$ ”, хотя существуют общепринятые обозначения, используемые в российских и международных стандартах –  $V^{daf}$  и  $Q_i^r$  соответственно. Более того, отсутствуют пояснения, в связи с чем значения этих величин определены автором по данным дифференциально-термического анализа, а не по предназначенным для этого общепринятым стандартам ГОСТ и ИСО.
2. На стр. 6 написано «для измерения элементного состава использовались минимум 3 пробы...». Почему в качестве минимального количества проб взято значение 3? Согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения» значения коэффициентов Стьюдента даны для количества измерений 4 и более. Каким образом происходила математическая обработка с оценкой погрешности измерения?
3. Почему выбраны различные температуры торрефикации для древесины, торфа и соломы? В тексте автореферата данный момент не освещен. Кроме того, в тексте по обоснованию актуальности дана информация, что торрефикация осуществляется при температурах 200-300°C, а большая часть данных на графиках (рис. 2-4) приведена для массовых потерь более 60%, соответствующих температурам свыше 300°C (рис. 1).
4. В сведениях о публикациях (стр. 5) упомянуто, что по результатам диссертации получено 2 патента на изобретение и 1 патент на полезную модель. Однако в перечне основных публикаций по теме (стр. 19-20) они отсутствуют.

Д.ф.-м.н. **Щербаков В.А.**, главный научный сотрудник лаборатории энергетического стимулирования физико-химических процессов **Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук** (142432, г. Черноголовка, ул. Акад. Осипяна, д. 8) – отзыв положительный, с замечаниями:

В автореферате на рис. 10 представлены данные по объемному выходу водорода и монооксида углерода, полученных путем крекинга летучих продуктов, выделяющихся при торрефикации древесных, соломенных и торфяных таблетированных масс. Показано, что мольное соотношение водорода и монооксида углерода в полученном синтез-газе

независимо от температуры торрефикации и вида использованного сырья составляет 1:1. При этом объемное выделение водорода в синтез-газе, полученном при торрефикации соломы, в полтора раза выше, чем при использовании торфа и в три раза выше, чем при использовании древесины. Однако объяснение этого результата в автореферате не представлено.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

Д.т.н., профессор **Косивцов Юрий Юрьевич** является крупным специалистом в области биотехнологий и энергетического использования биомассы. В сферу научных интересов Косивцова Ю.Ю. входит изучение методов термической обработки органического сырья, в том числе процесса пиролиза различных видов биомассы, исследование конечных продуктов пиролиза и направлений их дальнейшего энергетического применения.

Основные публикации Косивцова Ю.Ю., связанные с тематикой диссертационной работы Сычева Г.А.:

1. Kosivtsov Y.Y., Chalov K.V., Lugovoy Y.V., Sulman E.M., Stepacheva A.A., Molchanov V.P. Catalytic pyrolysis of volatile tars contained in gaseous products of fast pyrolysis of agricultural waste. *Chemical Engineering Transactions*, 2016, 52, с. 607-612.
2. Sulman E.M., Kosivtsov Y.Y., Sidorov A.I., Stepacheva A.A., Lugovoy Y.V. Fuel gas production through low-temperature catalytic pyrolysis of flax shives. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, 11(7), с. 4439-4447
3. Молчанов В.П., Сульман М.Г., Шиманская Е.И., Косивцов Ю.Ю. Исследование и оптимизация ресурсосберегающих способов биоконверсии торфяно-воздушных смесей и отходов пищевой промышленности. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия*. 2017. № 4. С. 65-72.

К.т.н. **Литун Дмитрий Степанович** является ведущим специалистом в области термохимических способов переработки биомассы. В настоящее время основные исследования Литуна Д.С. связаны с изучением проблем процесса сжигания различных видов биомассы в топках с псевдоожиженным, кипящим и плотным слоем, а также с разработкой технологии сжигания твёрдых топлив, носящих условно CO<sub>2</sub>-нейтральный характер.

Основные публикации Литуна Д.С., связанные с тематикой диссертационной работы Сычева Г.А.:

1. Г.А. Рябов, И.А. Долгушин, Д.С. Литун, Д.А. Мельников, О.М. Фоломеев. Применение технологии сжигания твердых топлив в кипящем слое на отечественных ТЭС. *Новое в российской электроэнергетике*. 2017. № 7. С. 46-57
2. Д.В. Сосин, Д.С. Литун, И.А. Рыжий, А.В. Штегман, Н.А. Шапошников. Опыт сжигания лузги подсолнечника в пылеугольных котлах Кумертауской ТЭЦ. *Теплоэнергетика*. 2020. № 1. С. 15-22.
3. D.S. Litun, G.A. Ryabov, O.M. Folomeev, E.A. Shorina, O.A. Smirnova. Fragmentation and agglomeration of biomass in fluidised bed pyrolysis and combustion. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 1565(1), 012004.

**Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"** – является одним из широко известных институтов России в области развития природоподобных технологий, биоэнергетики и изучения термохимических методов конверсии биотоплива.

Основные публикации сотрудников ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт», близкие к тематике диссертации:

1. Намсараев З.Б., Готовцев П.М., Комова А.В., Борголов А.В., Сергеева Я.Э. Васильев Р.Г. Оценка сырьевой базы Российской Федерации для производства топлива и энергии из биомассы // *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова, «АНО Информационно-аналитический центр медико-социальных проблем»*, Москва, 2015. Т.11. №4. С. 41-46.

2. Васильев Р.Г. Значение биоэнергетики для развития территорий Российской Федерации / Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова, «АНО Информационно-аналитический центр медико-социальных проблем», Москва, 2016. Т. 12, №1, С. 23-28.
3. Grigoriev A.S., Skorlygin V.V., Grigoriev S.A. Models of thermal processes for design optimization of power plants based on renewable energy sources and fuel cells. Thermal science. 2019, Volume 23, Issue 2, Part B, Pages: 1225-1235.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

**экспериментально получены** результаты, описывающие влияние режимных параметров процесса торрефикации на теплофизические свойства биомассы трех типов: отходы деревообрабатывающей промышленности (древесные опилки), отходы сельскохозяйственного производства (солома) и торф;

**предложен** универсальный критерий сопоставления характеристик торрефицированного сырья;

**экспериментально доказана** возможность интенсификации процесса торрефикации за счет использования тепла экзотермических реакций, сопровождающих процесс термической деструкции биомассы растительного происхождения;

**экспериментально доказана** возможность получения синтез-газа с заданным составом путем последовательного использования процессов торрефикации и двухстадийной пиролизической конверсии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**экспериментально показана** возможность реализации непрерывного процесса торрефикации гранулированной биомассы растительного происхождения, позволяющего в значительной мере снизить удельное энергопотребление при производстве твердого кондиционного биотоплива за счет частичного использования тепла экзотермических реакций;

**получены** новые экспериментальные данные по теплофизическим свойствам торрефицированной биомассы, их зависимости от режимных параметров процесса термообработки, что может быть использовано при проектировании промышленных установок и энерготехнологических комплексов с реактором торрефикации.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и конструкторских организациях, занимающихся разработкой, совершенствованием и внедрением методов энергетического использования местных топливно-энергетических ресурсов: ОАО «Продмаш», ООО «Энергонезависимость» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**результаты получены** на сертифицированном оборудовании;

**идея** диссертационной работы **базируется** на анализе научно-технической литературы в предметной области исследования, обобщении опыта работы других научных групп, лабораторий и технологических компаний и является шагом вперед в решении проблемы развития малой энергетики;

**использованы** современные методы и приборы для исследования теплофизических характеристик биотоплива;

**установлено** удовлетворительное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя состоит** в его непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи; с участием автора разработаны основные узлы лабораторной и пилотной установок, составлен план и методика проведения экспериментов. Автором лично получены данные по основным теплофизическим характеристикам исследуемых видов биотоплива, проведены все научные эксперименты. Обработка и интерпретация экспериментальных данных выполнена также при его

непосредственном участии. Апробация результатов исследования проводилась на 25 научных конференциях, в которых автор принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе подготовлены при непосредственном участии Сычева Г.А.

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 15.12.2020 г. Диссертационный совет принял решение присудить Сычеву Г.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении открытого голосования Диссертационный совет в количестве 18 человек, из них очно 4 доктора наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 4 доктора наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы и дистанционно 2 доктора наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 7 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 18, против 0.

Председатель Диссертационного совета Д 002.110.03  
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Вараксин А.Ю.

Ученый секретарь Диссертационного совета Д 002.110.03

к.т.н.  
М.П.



Фрид С.Е.  
15.12.2020 г.