

## ОТЗЫВ

официального оппонента Тугова Андрея Николаевича  
на диссертационную работу Лавренова Владимира Александровича  
«Экспериментальное исследование процесса двухстадийной термической  
конверсии древесной биомассы в синтез-газ» на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические  
системы и комплексы

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа посвящена востребованному в настоящее время направлению развития современной энергетической отрасли, а именно разработкам систем энергообеспечения, в том числе, автономного, на основе возобновляемого ресурса – растительной биомассы. Следует отметить, что одним из перспективных путей преобразования энергопотенциала твердых топлив в электроэнергию, прежде всего с точки зрения экологии, является их термохимическая переработка в газовые смеси, пригодные для использования в энергетических агрегатах на базе газовых турбин и двигателей внутреннего сгорания. В работе Лавренова В.А. исследуется именно такая технология, позволяющая получать из древесной биомассы кондиционный синтез-газ для использования в газопоршневых двигателях, и этой точки зрения работа, бесспорно, является актуальной. Актуальность обуславливается еще и тем, что тематика данной работы соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: «Рациональное природопользование» и «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, сомнений не вызывает, так они получены с использованием общепризнанных и апробированных

методик исследований и использованием поверенной современной измерительной аппаратуры. Полученные результаты согласуются с данными других авторов.

### **Научная новизна и практическая значимость работы**

Лавренов В.А. в своей работе впервые экспериментально подтвердил возможность практической реализации непрерывного процесса двухстадийной термической конверсии древесной биомассы в синтез-газ. На опытной установке непрерывного действия соискателем получены новые данные о химическом составе и удельном выходе газообразных продуктов. В диссертации также впервые исследована зависимость содержания в получаемом синтез-газе высокомолекулярных органических соединений (смола) и водяных паров от параметров проведения процесса. На основании полученных данных автор обосновывает возможность использования синтез-газа в двигателях внутреннего сгорания без дополнительной очистки от смол, что является важным практическим результатом работы. Кроме того, Лавренов В.А. выполнил испытания когенерационного энергетического комплекса на базе газопоршневого двигателя и исследовал возможность частичного замещения синтез-газом дизельного топлива в котельной действующего производственного предприятия.

**Диссертационная работа** изложена на 152 страницах текста, включая 32 рисунка и 26 таблиц, содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы (146 наименований) и приложение. Оформление диссертации соответствует действующим требованиям ВАК.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цели и задачи работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, научные и практические результаты, защищаемые в диссертации.

Первая глава посвящена литературному обзору существующих методов применения древесной биомассы в энергетике. Подробно рассмотрены технологии термохимической конверсии, приведено сравнение различных



конструкций газогенераторов. Проведен анализ работ, касающихся предлагаемого в диссертации метода двухстадийной термической конверсии. Описаны различные способы очистки и кондиционирования генераторного газа, а также показаны преимущества и недостатки различных видов оборудования для генерации электроэнергии при переработке древесной биомассы. Обзор даёт достаточно полную картину и представляет собой последовательное обоснование предлагаемых автором исследований.

Вторая глава содержит три основные части, в которых описывается проведение исследований процесса двухстадийной термической конверсии на экспериментальной установке периодического действия. Автором изучена зависимость содержания смол и влаги в синтез-газе от температуры крекинга летучих и дано качественное объяснение явления увеличения объёма газа, наблюдаемое при увеличении температуры крекинга. Исследовано влияние удельного выхода неконденсирующихся газов от соотношения масс коксового остатка и исследуемого образца биомассы. Также в главе предложен способ расчёта объёма реактора крекинга опытной установки непрерывного действия, основанный на масштабировании процесса.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям, проведенным на двух одинаковых модулях термохимической конверсии (МТК), сконструированным по предложенной автором схеме. Представлены экспериментальные данные по составу и объёму синтез-газа, рассчитаны все составляющие массового и энергетического баланса, на основании которых были вычислены показатели эффективности конверсии и КПД МТК. Предложена модернизированная схема МТК, предполагающая замену газовых горелок топкой, топливом для которой служит побочный продукт процесса – коксовый остаток, что, согласно предложенной автором методике расчёта, позволяет существенно увеличить КПД МТК.

Четвёртая глава включает в себя описание принципиальных схем, систем измерения и результатов испытаний когенерационного комплекса с газопоршневым электроагрегатом и блоком утилизации тепла продуктов

сгорания, а также отопительной системы производственного предприятия ООО «Энергонезависимость» (г. Нижний Новгород) с модифицированным жидкотопливным котлом, частично или полностью работающих на синтез-газе, полученном из отходов деревообработки. Отмечено участие Лавренова В.А. в работах по синтезу базового компонента авиационного топлива из газа, получаемого при переработке древесного сырья. Автором также сделана оценка экономической эффективности инвестиционного проекта создания автономной электростанции с установкой двухстадийной конверсии древесных отходов.

В заключении Лавреновым В.А. представлены основные результаты работы и выводы.

Изложение материалов диссертации выполнено на достаточно высоком научном уровне, обладает внутренним единством. По каждой главе сделаны чёткие выводы, отражающие полученные в ней основные научные и практические результаты.

По результатам исследований автором опубликованы 22 печатные работы, в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК и 2 статьи в журнале, входящем в реферативные базы данных Scopus и Web of Science. Результаты докладывались на 19 российских и международных научных конференциях. Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают результаты научных исследований диссертационной работы.

### **Замечания**

По работе имеются следующие замечания:

1. При сравнении энергоэффективности энергоустановок, работающих по принципу прямого сжигания с использованием паровых турбин, и установок, использующих промежуточный газообразный теплоноситель с применением газовых турбин и газопоршневых двигателей, для последних в оценках следует учитывать эффективность конверсии, влияние теплоты сгорания газа на КПД газопоршневых двигателей и турбин,



затраты на очистку синтез-газа и т.д., которые существенно снижают энергоэффективность. Преимущества энергоустановок малой мощности с промежуточным теплоносителем заключается, прежде всего, в более низких капитальных затратах и экологичности по сравнению с традиционными, а не в энергоэффективности.

2. Анализ экспериментальных данных о вкладе трех рассматриваемых реакций в увеличение выхода газов относится исключительно к условиям проведения описанных экспериментов. В работе не приведен термодинамический анализ и не дано оценок того, насколько рассматриваемые процессы приближались к равновесному состоянию. Из-за отсутствия термодинамического анализа остается открытым вопрос о возможности использования полученных данных к подобным процессам в промышленных установках.

3. Значение КПД жидкотопливного котла, приведённое в табл. 4.3, ниже среднего значения КПД для аналогичных котлов, горелки которых правильно настроены для сжигания дизельного топлива. Соответствующее значение коэффициента избытка воздуха, приведённое в табл. 4.2, также ниже нормального значения для горелочных устройств подобного типа. Заключение о неизменности условий сгорания жидкого топлива при замене 20% жидкого топлива синтез-газом является спорным, т.к. параметры сжигания изначально отличны от оптимальных.

4. В разделе, посвященном экономическому анализу проекта создания автономной электростанции не приведена структура операционных затрат, являющихся важной составляющей любого инвестиционного проекта.

5. В автореферате следовало бы привести формулы расчёта эффективности конверсии древесной биомассы в синтез-газ и коэффициента полезного действия модуля термохимической конверсии.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки работы, научной и практической значимости ее результатов.

## Заключение по работе

Диссертационная работа Лавренова В.А. является завершённой научно-исследовательской квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научно-техническом уровне с использованием современного высокоточного оборудования. Полученные автором результаты являются достоверными, а сформулированные выводы и заключения обоснованными. Автореферат соответствует содержанию диссертации и даёт полное представление о проделанной работе. Диссертация соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Лавренов Владимир Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Отзыв составлен официальным оппонентом, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, заведующим отделением парогенераторов и топочных устройств электростанций ОАО «ВТИ» Туговым Андреем Николаевичем.

Тел. +7 (495) 675-17-95. E-mail: antugov@vti.ru

Д.т.н., с.н.с.

Тугов А.Н.

Научный руководитель, д.т.н.

Тумановский А.Г.



Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт».

Ул. Автозаводская, д. 14, г. Москва, 115280.