



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль - 13.06.01 Электро – и теплотехника
Школа - ИШФВП
Отделение – Электроэнергетики и электротехники

Научно-квалификационная работа

Тема научно-квалификационной работы
Повышение эффективности сжигания композиционного жидкого топлива на тепловых электрических станциях по условиям его зажигания

УДК - 621.311.22.002.5:621.182.2-63-027.236

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-46	Валиуллин Тимур Радисович		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения	Дементьев Юрий Николаев	к.т.н., профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения	Дементьев Юрий Николаев	к.т.н., профессор		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Актуальность темы. Суспензионные водосодержащие топлива на основе измельченного угля или отходов углеобогащения принято называть водоугольными (ВУТ), органоводоугольными (ОВУТ), композиционными жидкими (КЖТ). Их перспективность была обоснована еще более 30–40 лет назад. В последние годы в мировом научном сообществе все больше аргументов в пользу необходимости активного применения суспензионных водосодержащих топлив, так как становится возможным решить ряд глобальных проблем человечества. В частности, основная привлекательность КЖТ в сравнении с традиционными энергоресурсами (газ, уголь, нефть) обусловлена значительными высокими показателями экологических, энергетических и технико-экономических критериев.

Цель научно-квалификационной работы – экспериментальное определение условий и характеристик зажигания, перспективных для ТЭС суспензий КЖТ (на основе отходов углепереработки, отработанных нефтепродуктов и воды) при витании в модельной камере сгорания.

Научная новизна работы. Предложен новый подход к экспериментальному изучению процессов зажигания частиц КЖТ, отличающийся от известных обеспечением условий витания последних при нагреве и зажигании в среде разогретого воздуха. Установлены условия и характеристики зажигания перспективных суспензий КЖТ в модельной камере сгорания, конструкция которой обеспечивает максимальное (по сравнению с известными экспериментальными подходами) приближение к топочным процессам ТЭС.

Практическая значимость. Полученные экспериментальные результаты являются основой для развития современных представлений о процессах зажигания и горения капель (частиц) перспективных композиционных жидких топлив в камерах сгорания котельных установок ТЭС.

Степень достоверности результатов экспериментальных исследований. Достоверность результатов диссертационных исследований подтверждается выполненными оценками систематических и случайных погрешностей результатов измерений, удовлетворительной повторяемостью опытов при идентичных начальных условиях

Связь работы с научными программами и грантами. Научно-квалификационная работа, в том числе и зажигания витающих частиц КЖТ выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15–19–10003).

Личный вклад автора состоит в формулировании задач, планировании экспериментальных исследований, разработке экспериментальной методики и создании стенда с модельной камерой сгорания.

Апробация работы. Основные результаты научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях с международным участием.

Краткое содержание работы

При исследовании характеристик процессов зажигания и горения витающих частиц КЖТ в отличие от стационарно подвешиваемых капель проводилась оценка необходимых параметров для витания капли топливной композиции. Целью оценки являлось определение геометрических размеров расширяющейся части кварцевой трубы (с конусообразными входными и выходными каналами), в которой происходило бы зажигание капли потоком нагретого воздуха. В качестве перспективной (с точки зрения трудоемкости изготовления, размещения в лаборатории и соответствия условиям сжигания топлив на ТЭС) конструкции разработана модельная конусообразная камера сгорания. Конфигурация камеры сгорания позволила, с одной стороны, приблизиться к условиям витания частицы в реальных камерах сгорания, а, с другой стороны, визуализировать процессы зажигания, т.е. непрерывно следить за витающими частицами. Это удалось обеспечить за счет прозрачности камеры сгорания, выполненной из жаропрочного кварцевого стекла.

Для исследования характеристик зажигания витающих частиц КЖТ разработан экспериментальный стенд, схема которого приведена на рис. 1.

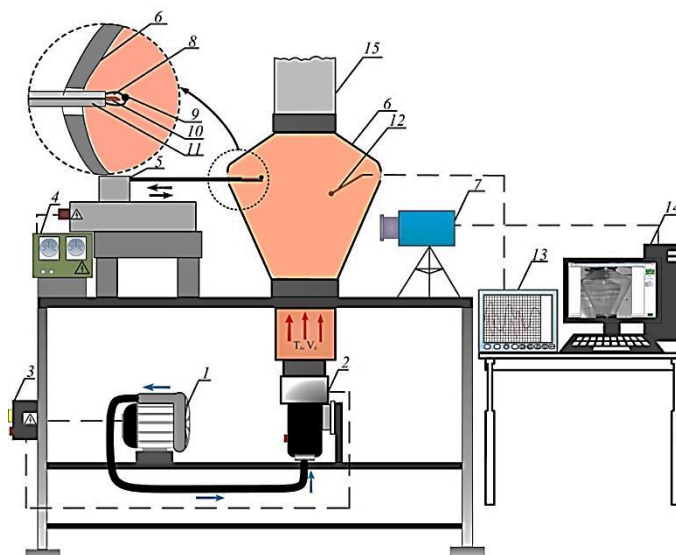


Рис. 1. Схема стенда: 1 – нагнетатель, 2 – воздухонагреватель, 3 – пульт управления, 4 – блок питания и управления координатного механизма, 5 – координатный механизм, 6 – модельная конусообразная камера горения из кварцевого стекла, 7 – высокоскоростная видеокамера, 8 – нихромовая проволочка, 9 – капля КЖТ, 10 – режущий элемент, 11 – металлические полые стержни, 12 – хромель-алюмелевая термопара, 13 – регистратор температуры, 14 – персональный компьютер, 15 – вытяжной зонт для удаления продуктов сгорания

Отличия характеристик зажигания частиц суспензионных топлив.

При одинаковых компонентных составах КЖТ, начальном радиусе капли и температуре воздуха расхождение во времена задержки зажигания для витающей частицы в отличие от капли подвешиваемой на термопаре составляет порядка 20-40 %. Экстраполяции кривых вне заданных

величин на более высокие температуры позволяет спрогнозировать времена задержки зажигания (τ_d), соответствующие реальным топочным процессам. На рис. 2 (а,б) данные функции приведены. Определяющим также параметром является размер витающей частицы КЖТ. Так для витающей частицы и капли КЖТ подвешенной на термопаре экспериментальные значения τ_d могут отличаться более чем в 1.5 раза.

Таблица 1. Исследованные составы топлив

Номер состава	Твердые компоненты (%)		Жидкие горючие компоненты (%)		Вода (%)	Пластификатор (%)
	Уголь «2Б»	Кек «К»	Отработанное моторное масло	Отработанное турбинное масло		
1	50	-	10	-	39.5	0.5
2	50	-	-	10	39.5	0.5
3	-	50.5	10	-	39	0.5
4	-	50.5	-	10	39	0.5

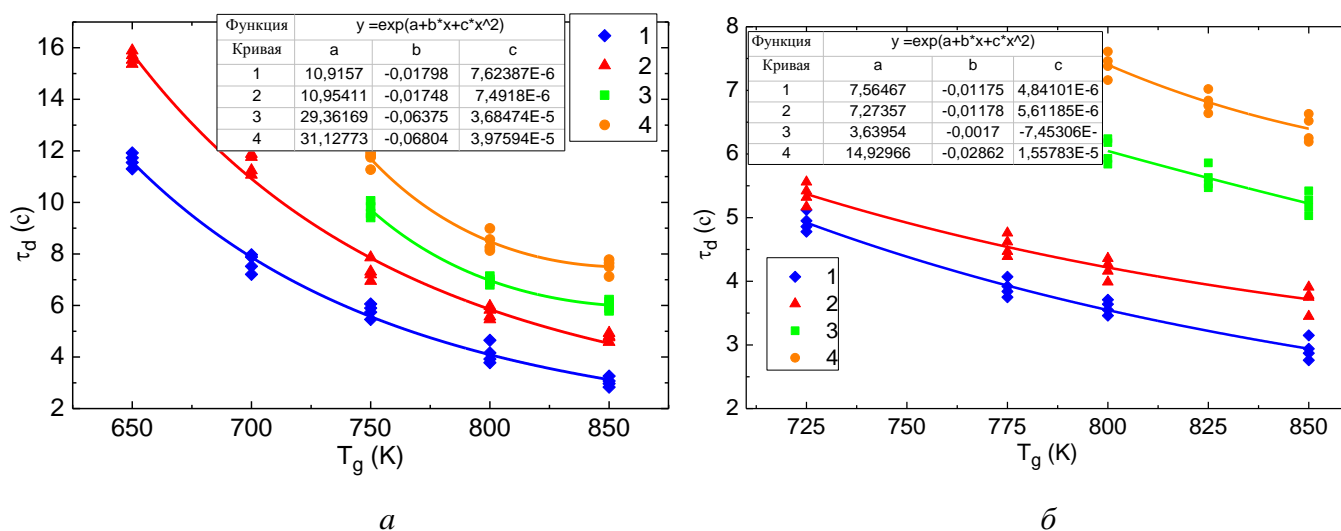


Рис. 2. Времена задержки зажигания капли КЖТ ($R_d \approx 0.5$ мм) на спае малоинерционной (номинальная статическая характеристика – платинородий-платина, диапазон измеряемых температур 273–1873 К, систематическая погрешность ± 1 К, инерционность не более 1 с, диаметр спая около 0.1 с) термопары в зависимости от T_g (а); времена задержки зажигания капель КЖТ ($R_d \approx 0.5$ мм) при витании в камере сгорания в зависимости от T_g (б). Нумерация топливных композиций 1–4 соответствуют номерам составов из таблицы 1.

Основные результаты и выводы

1. Разработан экспериментальный стенд со специальной модельной камерой сгорания для исследования процессов зажигания и горения, витающих КЖТ в потоке разогретого воздуха, в условиях приближенных к топочным процессам теплоэнергетических установок.

2. Установлены четыре режима зажигания частиц КЖТ, двум которым соответствует режим витания в потоке разогретого воздуха, отличающиеся произвольной траекторией движения и локальностью воспламенения.

3. Показано, что для витающих частиц КЖТ времена задержки зажигания ниже (до 2–4 с), чем при их инициировании горения на малоинерционной термопаре или даже при использовании материала с низкой температуропроводностью. При этом минимальные (пороговые) температуры зажигания витающих частиц КЖТ немного выше, чем при их нагреве на держателях.

4. Доказано, что зажигание полидисперсного потока витающих частиц КЖТ происходит быстрее, чем одиночной частицы, времена, задержки, зажигания которых ниже на 20–40 %.

Полученные экспериментальные данные о характеристиках зажигания витающих частиц КЖТ являются информационной базой для опытно-конструкторских работ при проектировании различных типов вихревых топочных устройств, камер сгорания (геометрия, материал стенок и др.). Это также касается всех потенциально действующих котельных агрегатов ТЭС с небольшими усовершенствованиями в рамках существующих конструкций (например, слоевые топки), где есть возможность сжигания распыленного суспензионного топлива.

Основные публикации (статьи) по научно-квалификационной работе

1. **Валиуллин, Т. Р.** Зажигание капли органоводоугольного топлива при витании в потоке разогретого воздуха / Т. Р. Валиуллин, П. А. Стрижак, С. А. Шевырев, А. Р. Богомолов // *Теплоэнергетика*. – 2017. – №1. – С. 71.
2. **Valiullin, T. R.** Low temperature combustion of organic coal-water fuel droplets containing petrochemicals while soaring in a combustion chamber model / T. R. Valiullin, P. A. Strizhak, S. A. Shevyrev // *Thermal Science*. – 2017. – Vol. 21, No. 2. – P. 1057–1066.
3. **Валиуллин, Т. Р.** Особенности зажигания витающих капель органоводоугольных топлив, приготовленных из типичных отходов угле- и нефтепереработки / Т. Р. Валиуллин, К. Ю. Вершинина, Д. О. Глушков, С. А. Шевырев // *Кокс и химия*. – 2017. – № 5. – С. 40–48.
4. **Valiullin, T. R.** Effect of macroscopic porosity onto the ignition of the waste-derived fuel droplets / D. V. Antonov, T. R. Valiullin, R. I. Egorov, P. A. Strizhak // *Energy*. – 2017. – Vol. 119. – P. 1152 – 1158.
5. **Valiullin, T. R.** Combustion of the waste-derived fuel compositions metallized by aluminum powder / T. R. Valiullin, R. I. Egorov, P. A. Strizhak // *Combustion and Flame*. – 2017. – Vol. 182. – P. 14–19.
6. **Valiullin, T. R.** Influence of the shape of soaring particle based on coal-water slurry containing petrochemicals on ignition characteristics / T. R. Valiullin, P. A. Strizhak // *Thermal Science*. – 2017. – Vol. 21, No. 3. – P. 1399–1408.
7. **Valiullin, T. R.** The ignition dynamics of the water-filled fuel compositions / R. I. Egorov, D.V. Antonov, T. R. Valiullin, P. A. Strizhak // *Fuel Processing Technology*. – 2018. – Vol. 174. – P. 26–32.
8. **Valiullin, T. R.** Energetic and ecological effect of small amount of metalline powders used for doping waste-derived fuels / R. I. Egorov, T. R. Valiullin, P. A. Strizhak // *Combustion and Flame*. – 2018. – Vol. 193. – P. 335–343.