

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Челебяна Оганеса Грачьяевича **«Метод подготовки равномерной смеси жидкого топлива с воздухом во фронтовом устройстве авиационной малоэмиссионной камеры сгорания»** представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели летательных аппаратов и энергоустановки летательных аппаратов»

В настоящее время создание малоэмиссионной камеры сгорания(КС) для ГТД представляет собой сложную научно-техническую задачу, связанную с большим объемом экспериментально теоретических исследований различных моделей газодинамики, распыла жидкого топлива, распределения топлива и процесса горения. Одним из важных вопросов при проектировании КС является разработка методов получения равномерной топливовоздушной смеси за фронтовым устройством КС. Ужесточение международных стандартов на эмиссию вредных веществ, а также расширение области применения жидких (в том числе альтернативных) топлив требуют разработки перспективных методов пневматического распыливания, обеспечивающие создание равномерной смеси топлива с воздухом за фронтовым устройством КС. В этой связи данная работа посвящена актуальной теме - разработке метода подготовки равномерной топливовоздушной смеси для малоэмиссионных камер сгорания.

Целью работы является исследование и создание метода, позволяющего прогнозировать дисперсные характеристики аэрозоля при использовании различных видов жидких топлив, с пневматическим распыливанием, и разработка на его основе перспективного фронтового устройства для малоэмиссионных КС.

В первой главе работы проводится обзор работ и определяется состояние вопроса в области подготовки распыленного топлива в камерах сгорания. На основании этого обзора автор обосновывает актуальность темы и ставит задачи исследований. Установлено, что в настоящее время в авиации распыливание жидкого топлива осуществляется главным образом центробежными и пневматическими форсунками. Согласно проведенным

исследованиям выбор метода подготовки топлива зависит во многом от давления в камере сгорания. Для давлений в камере до 50 бар рекомендуется организация процесса быстрого смешения с помощью предварительно испарённого топлива, а при повышении давления предлагается использовать многостадийную подачу топлива. *Сделан очень важный вывод, что при дальнейшем увеличении давления в камере сгорания единственным возможным методом подачи топлива в настоящее время является многоточечный впрыск его в камеру сгорания с использованием пневмо распыливания топлива.*

Однако такая система подачи топлива приводит к ухудшению условий стабилизации фронта пламени в первичной зоне, вследствие однородности смеси, что требует применения пилотной горелки.

На основании проведенного обзора автором разработана общая классификация устройств для закрутки потока воздуха, позволяющая выбрать необходимый тип воздушного завихрителя для достижения требуемых характеристик аэрозоля за выходным соплом устройства. *Необходимо отметить, что обзор работ выполнен на высоком научно - техническом уровне, квалифицированно, с привлечением широкого круга результатов исследований в мире по данному вопросу. Однако недостаточно четко сформулированы задачи исследований*

В следующих главах автор приводит результаты большого объема экспериментальных исследований на стенде лазерной диагностики характеристик топливовоздушных факелов (поля мелкости распыла, поля концентраций и их пульсаций, углы факела и др.).

В качестве объектов исследования были выбраны разработанные в ЦИАМ два типа горелок: двухканальная по топливу комбинированная центробежно-пневматическая, и одноканальная пневматическая.

*На основании результатов проведенных экспериментов автором обнаружены новые физические явления в механизме распада жидкой пленки на капли.* Получено, что топливная пленка формируется в результате слияния закрученных струй жидкости в единый поток на длине камеры закручивания и сопла форсунки. При этом установлено, что при продвижении жидкости по полостям форсунки, из-за трения о поверхность происходит торможение наружного слоя и уменьшение компонента скорости в нем. Предполагается, что с ростом скорости, в зависимости от свойств жидкости и геометрической характеристики форсунки, сдвиг слоев становится настолько существенным, что начинает закручиваться внешний пристеночный слой в обратном направлении от вектора скорости. Одновременно автор большое внимание уделяет определению влияния повышенной вязкости топлив при приемлемой мелкости аэрозоля.

На основании анализа результатов экспериментальных исследований автором получена эмпирическая зависимость среднего диаметра капель от

физических характеристик топлив, которая используется автором в дальнейших исследованиях, и рекомендуется для использования на практике.

*Необходимо отметить, что полученная автором зависимость не учитывает влияние параметров распыливающего воздуха, что сужает область ее применения. На наш взгляд, использование при обработке обширного экспериментального материала общезвестных критерии (Вебера, Лапласа и др.) позволило бы автору получить более универсальные зависимости.*

В четвертой главе автор проводит апробацию разработанного метода подготовки топливовоздушной смеси и работоспособности фронтового модуля с пневмопропеллером в огневых испытаниях на стенде ЦИАМ в модельном 3-х горелочном отсеке КС . Целью испытаний являлось определение диапазона устойчивости горения и исследование эмиссионных характеристик.

Приводится сравнительный график зависимости уровня эмиссии NOx от коэффициента избытка воздуха на разработанном автором фронтовом устройстве при сжигании распыленного керосина, здесь же показана расчетная кривая, полученная для сжигания смеси пропан/воздух. Исходя из того, что уровень образования эмиссии NOx имеет экспоненциальную зависимость от коэффициента избытка воздуха, по данным испытаний 3-х модульного отсека, автор делает вывод, что происходит горение гомогенной смеси.

*Очевидно, что для подтверждения достоверности сделанных выводов необходимо привести еще и методику расчета данной зависимости.*

*Очевидно, что для оценки эффективности работы предлагаемого фронтового устройства необходимо иметь также срывные и полнотные характеристики, которые позволили бы определить оптимальные режимы ее работы.*

Необходимо отметить, что в работе широко используется коммерческие пакеты расчета гидродинамики течения в исследуемых распыливающих устройствах для подтверждения целесообразности схемы применения воздушных завихрителей с различной степенью закрутки потоков проведены расчетные исследования разработанного фронтового модуля. Проведена оптимизация схемы воздушных каналов завихрителей, определены поля давления, скорости потока, расходные характеристики фронтового модуля, размеры зоны обратных токов и угла раскрытия факела. В результате автором разработан расчетно-экспериментальный метод проектирования устройств пневматического распыливания жидкого топлива с высокой окружной неравномерностью и монодисперсным составом, который может использоваться при разработке новых камер сгорания. Полученные

результаты работы являются достоверными и позволяют прогнозировать дисперсные характеристики аэрозоля при использовании различных видов жидкого (включая биотоплив) топлив, с пневматическим распыливанием во фронтовой части камеры сгорания ГТД. Исходя из материалов исследований выполнен анализ концепций развития авиационных малоэмиссионных камер сгорания, удовлетворяющих современным экологическим стандартам ИКАО.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. При обобщении результатов экспериментальных исследований по пневматическому распыливанию топлив не используются критериальные соотношения, позволяющие учитывать влияние параметров распыливающего воздуха и расширить область использования результатов исследований.
2. Не представлены графические зависимости изменения среднего диаметра капель в факеле распыливания от режимов подачи топлива, позволяющие провести их анализ и сопоставить полученные данные по распыливанию с результатами других авторов.
3. Не приведена методика расчета выбросов NO<sub>x</sub> для горения смеси пропан/воздух при сравнении результатов огневых испытаний горелок.

Несмотря на указанные замечания, работа Челебяна О.Г. выполнена на высоком научно техническом уровне. Проведена большая экспериментальная работа по разработке систем подготовки жидкого, топлив, в том числе и биотоплива, обеспечивающих эффективное и малоэмиссионное горение. Получена новая эмпирическая зависимость для расчета среднего диаметра капель в факеле при пневматическом распыливании. Предложенная конструкция фронтового устройства испытана на огневом стенде. Получены экологические характеристики 3-х горелочных установки с разработанной автором системы подготовки смеси.

Автореферат полностью отражает основные результаты диссертации.

В заключение, считаю, что диссертационная работа Челебяна Оганеса Грачьяевича «МЕТОД ПОДГОТОВКИ РАВНОМЕРНОЙ СМЕСИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА С ВОЗДУХОМ ВО ФРОНТОВОМ УСТРОЙСТВЕ АВИАЦИОННОЙ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» является законченным научным трудом соискателя, в котором автор показал высокий уровень квалификации по процессам горения в газотурбинных двигателях, владения современными методами экспериментального и теоретического исследования сложных физических процессов и применение результатов в практических задачах. Содержание

диссертации и автореферата полностью соответствует требованиям п. 9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Челебян Оганес Грачьяевич несомненно, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

## Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой реактивных  
двигателей и энергетических установок  
ФГОПУ ВПО Казанского национального  
исследовательского технического  
университет им. А.Н.Туполева,

*[Signature]*

Б.Г.Мингазов

Отзыв составил Мингазов Билал Галавтдинович, доктор технических наук, заведующий кафедрой реактивных двигателей и энергетических установок ФГОПУ ВПО Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева.

Адрес: кафедра реактивных двигателей и энергетических установок  
ФГОПУ ВПО Казанского национального исследовательского технического  
университета им. А.Н.Туполева, Республика Татарстан, г. Казань 420111, ул.  
К. Маркса, 10.

Электронная почта: BGMingazov@kai.ru,  
тел.: +79172999361, (843)238-44-20,  
факс: (843)238-44-20

