

МИНИСТЕРСТВО  
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный  
исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)

К. Маркса ул., д. 10, Казань, 420111  
Тел.: (843) 238-41-10 Факс: (843) 236-60-32  
E-mail: kai@kai.ru, http://www.kai.ru  
ОКПО 02069616, ОГРН 1021602835275  
ИНН/КПП 1654003114/165501001

10.03.2020 № 3-0001-945  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Куда:

125933, г. Москва, А-80, ГСП-3.  
Волоколамское шоссе, 4 МАИ.  
Учёный совет.

Кому: Учёному секретарю  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессору  
Зуеву Юрию Владимировичу

Уважаемый Юрий Владимирович!

Согласно Вашему письму № 08-2019-30 от 09.12.2019 г., направляю Вам  
Отзыв на докторскую диссертацию соискателя Колодяжного Дмитрия  
Юрьевича.

Отзыв подготовил:  
профессор кафедры «Теплотехники и энергетического машиностроения»,  
доктор технических наук, академик Российской академии космонавтики им.  
К.Э. Циолковского Алтунин Виталий Алексеевич.

Приложение: Отзыв на 9 листах – 2 экземпляра.

С уважением,  
Проректор по научной и инновационной  
деятельности КНИТУ-КАИ,  
д.т.н., профессор

С.А. Михайлов

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«13» 03 2020

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

**КОЛОДЯЖНОГО** Дмитрия Юрьевича

на тему: «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных  
способов и технологий в авиационных двигателях»

по специальности: 05.-7.05 – Тепловые, электроракетные двигатели  
и энергоустановки летательных аппаратов»

Тема диссертационного исследования очень актуальна, т.к. связана с дальнейшим повышением эффективности двигателей и энергоустановок летательных аппаратов на жидких углеводородных горючих и охладителях.

Автором проделана большая работа по сбору, анализу и обобщению научно-технической и патентно-лицензионной литературы, по созданию экспериментальной базы, по проведению экспериментальных исследований и анализу их результатов.

Данная работа хорошо известна, т.к. соискатель Колодяжный Д.Ю. представлял её основные результаты на Всероссийских и международных научно - технических семинарах, конференциях и симпозиумах. Им опубликованы научные статьи в рецензируемых научно-технических отечественных и зарубежных журналах, получено 7 патентов на изобретения РФ.

Научной новизной можно считать:

1. Стратегию исследований и разработок электрокаплеструйного форсуночного модуля (ЭКСФМ) с электрическим устройством воздействия на топливо (ЭУВТ), которая была создана на базе разработанной технологии Динамического конструирования.
2. Разработку методов и технологии повышения эффективности распыла жидкого топлива (керосина) и горения топливо-воздушной смеси (ТВС) с использованием ЭУВТ и переменных однородных и резко неоднородных электрических полей с изменяющейся частотой.
3. Впервые полученную безразмерную формулу зависимости эффективного поверхностного натяжения капли топлива от величины униполярного электрического заряда.
4. Разработанные методы повышения эффективности электризации углеводородных топлив и ТВС, матмодели ЭГД процессов сообщения униполярного электрического заряда углеводородным топливам в резко неоднородном электрическом поле ЭУВТ.

Удел документационного  
обеспечения МАИ

«13» 03 2020



5. Разработку принципиально новых электрокаплеструйных (ЭКС) методов распыла топлива, горения ТВС в камере сгорания (КС) авиадвигателей.
6. Разработку численных моделей: ЭГД - процессов образования заряда в резко неоднородном электрическом поле вблизи поверхности электрода типа «игла», процессов течения двухфазных потоков, процессов течения газов, распространения капель, горения и образования вредных веществ в КС авиационного ГТД.
7. Разработку трёхмерной численной ЭГД модели ЭКСФМ с закрученным турбулентным течением керосина как без, так и с учётом ЭГД взаимодействия.
8. Решение задач повышения точности и достоверности численных моделей рассматриваемых процессов применительно к авиадвигателям с целью получения наибольшего совпадения результатов расчёта с экспериментальными данными.
9. Проведение численных исследований влияния конструктивных, ЭГД, гидродинамических, электрических параметров на параметры распыла и горения с дальнейшим обобщением и разработкой рекомендаций по выбору рациональных параметров ЭКСФМ.
10. Проверку и внедрение результатов исследований в перспективные отечественные авиадвигатели двойного назначения.
11. Разработку и создание новых реальных форсунок повышенных характеристик с возможностью применения электрических полей.
12. Разработку теоретических моделей и методов численного расчёта с использованием суперкомпьютерных вычислений с верификацией экспериментом рассматриваемых процессов, позволяющих выбрать рациональные соотношения между электрическими, гидро (газо) динамическими и конструктивными параметрами ЭКСФМ.

В качестве недостатков и замечаний можно отметить:

1. Из автореферата видно, что соискатель недостаточно широко провёл обзор и анализ научно-технической и патентно-лицензионной литературы по теме диссертации. Отсутствует анализ существующих электрораспыливающих систем различных жидкостей, в том числе, и углеводородных. Отсутствует анализ проблем форсунок двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА (ВРД, ЖРД и др.). Не рассмотрены пути повышения эффективности существующих и перспективных форсунок. Не проанализированы существующие и перспективные способы борьбы с аномальными тепловыми процессами в двигателях (в форсунках, фильтрах, каналах) на жидких углеводородных горючих и охладителях.



2. В автореферате, на стр. 13 (второй абзац) автор утверждает, что «Применительно к авиационным двигателям использование электрических полей для повышения эффективности распыла и сгорания керосина рассматривается в данной диссертации впервые». Однако это далеко не так. Существует много опубликованных отечественных работ и изобретений, в том числе, и для двигателей летательных аппаратов, на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях, где электрические поля применяются:

а) для полной предтопливной подготовки (для смешения, ионизации и гомогенизации одного или сразу двух и более жидких углеводородных топлив), которую организуют: вне ЛА в специальных баках с дальнейшей заправкой (перед полётом); внутри ЛА перед двигателем (в специальных баках) перед полётом или в ходе полёта; внутри двигателя (в кольцевой камере, в топливных каналах, в форсунках) – эти способы позволяют повысить качество, экологичность и полноту сжигания жидкого углеводородного горючего;

б) для борьбы с осадкообразованием (экспериментально установлено, что электростатические поля способствуют предотвращению осадкообразования в топливно-охлаждающих каналах и форсунках);

в) для интенсификации теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и охладителям (экспериментально обнаружено, что электростатические поля способствуют повышению коэффициента теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и охладителям до 650 %, что очень важно, в том числе, и для организации борьбы с осадкообразованием);

г) для осуществления борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в рубашках охлаждения ЖРД и других двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА;

д) для осуществления движения жидкого углеводородного горючего в топливно-охлаждающих каналах с дальнейшим электрораспылом (в аварийных случаях при отказе основной насосной системы ЛА, КЛА);

е) для осуществления контроля за тепловыми процессами в двигателях и энергоустановках ЛА, КЛА, (возможно совмещение рабочих соосных игл для наружного ионизационного контроля процесса горения с процессом электрораспыла);

Необходимо отметить, что каждое выше описанное направление применения электростатических полей в жидких (и в газообразных) углеводородных горючих и охладителях ведёт к улучшению распыла, к полноте и экологичности сжигания, к повышению эффективности двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА.

Специально для соискателя - (см. статьи:

- в журналах «Известия вузов. Авиационная техника»:



№ 2 за 1995 г., статья авторов Дрегаллина А.Ф., Алтунина В.А., Павлова О.Ю. и др. «Исследование возможности интенсификации процессов теплоотдачи и предотвращения осадкообразования в энергетических установках экранопланов»;

№2 за 1998 г., статья авторов Дрегаллина А.Ф. Алтунина В.А. и др. «Методика расчёта влияния электрического ветра на интенсификацию теплоотдачи и предотвращение осадкообразования в энергетических установках экранопланов»;

- в журнале «Известия вузов. Машиностроение»:

№10 за 2017 г. статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Алиева И.Н., Платонова Е.Н., Кохановой С.Я., Яновской М.Л. «Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в топливно-охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного, аэрокосмического и космического применения»;

- в журнале «Инженерно-физический журнал»: Том 85, № 4, статья авторов: Алтунина В.А., Алтунина К.В., Алиева И.Н., Гортышова Ю.Ф., Яновской М.Л. и др. «Анализ исследований электрических полей в различных средах и условиях»;

- в журнале «Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева»:

№3 за 2013 г., статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Демиденко В.П., Обуховой Л.А., Платонова Е.Н., Яновской М.Л. «О необходимости учёта особенностей тепловых процессов в энергоустановках многофазового использования на жидких углеводородных горючих и охладителях при создании систем контроля и управления авиационной, аэрокосмической и космической техники»;

№4 за 2013 г., статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Обуховой Л.А., Платонова Е.Н., Яновской М.Л. «Некоторые пути повышения ресурса и надёжности двигателей и энергоустановок на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях наземного, авиационного, аэрокосмического и космического базирования»;

№ 1-2 за 2015 г., статья автора Алтунина К.В. «Повышение ресурса реактивных двигателей на жидких углеводородных горючих за счёт применения новых форсунок»;

- в журнале «Тепловые процессы в технике»:

Том 11. № 10 за 2019 г., статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Алиева И.Н., Яновской М.Л. и др. «Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов».



- в Трудах научных чтений РАН памяти К.Э. Циолковского по секции №2: «Проблемы ракетной и космической техники»:

в Трудах 51-ых чтений за 2016 г. (Опубл. в 2017 г.), статья авторов Алтунина В.А., Кохановой С.Я., Демиденко В.П., Платонова Е.Н. и др. «Особенности тепловых процессов и их контроль в топливно-охлаждающих системах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях»;

в Трудах 51-ых чтений за 2016 г. (Опубл. в 2017 г.) статья авторов Алтунина К.В., Новикова С.Н., Яновской М.Л. и др. «Влияние тепловых процессов в углеводородных горючих и охладителях на совершенствование конструктивных схем форсунок и каналов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов».

см. некоторые патенты на изобретения РФ Алтунина В.А., Алтунина К.В., Яновского Л.С. и др.:

а) № 2155910. «Форсунка»;

б) № 2287715. «Способ повышения надёжности ЖРД одно - и многократного использования»;

г) № 2504843. «Способ определения конфигурации распространения силовых линий электростатических полей в жидких углеводородных средах»;

д) № 2452896. «Головка кольцевой камеры сгорания газотурбинного двигателя»;

е) № 2388966. «Форсунка»;

ж) № 2467195. «Способ прогнозирования осадкообразования в энергоустановках многократного использования на жидких углеводородных горючих и охладителях»;

з) № 2482413. «Способ предотвращения образования и роста углеродистых отложений на стенках теплообменных каналов»;

и) № 2504676. «Способ определения ресурса реактивного двигателя» и др.

3. Из автореферата видно, что соискатель, в основном, проводил исследования с электрическими полями - только по возможности распыла жидкого углеводородного горючего (см. рис. 1 на стр. 18), но в автореферате нет ни одного экспериментального графика и нет ни одной экспериментальной таблицы, где можно было бы оценить роль электрических полей (напряжений, рабочих участков – электродов, их конструктивных особенностей, расстояний между ними и т.д.) в процессе уменьшения диаметра капель и в процессе повышения качества распыла, также отсутствуют результаты теоретических расчётов, поэтому нет возможности сравнения экспериментальных данных с теоретическими, полученными на супер компьютерах 21 века. То же самое



относится и к исследованиям влияния электрических полей на зарядку (ионизацию) горючего в предфорсуночном канале (см. рис. 2 на стр. 23).

Более 50 % текста автореферата занято словесным описанием программного обеспечения, разработкой методик расчётов и различных методологий.

4. Из автореферата неясно, какие, как и где электрические поля применялись в экспериментах..., какие источники электрических полей применялись в экспериментах, потому, что, кроме рис. 1 и рис. 2, нет конкретных и всесторонних схем и рисунков. Отсутствует также анализ эффективности существующих рабочих участков - электродов типа «Игла – игла», «Игла – плоскость», «Игла – кольцо», «Игла – сетка» и др., автор даже не описывает и не обосновывает, почему он выбрал именно такие электроды, а не другие. В тексте автореферата упоминается о системе «Игла – плоскость», а также о системе «Игла – плоскость с отверстием».

5. В автореферате соискатель пишет, что все эксперименты были проведены на жидком углеводородном горючем марки ТС-1, которое является диэлектриком. Но автором Алтуниным В.А. (автором этого Отзыва) ещё в 1995 году экспериментально было обнаружено и доказано, что при температуре +40 °С во всех жидких углеводородных горючих появляются (+) (-) электрические заряды (т.е. горючие становятся электропроводными средами), а при температуре 100 °С – появляются диполи, которые активно участвуют в негативном процессе осадкообразования. Как это учитывалось диссертантом (и учитывалось ли вообще) при написании формул, программ, методик и методологий по теме диссертации?

6. Из автореферата неясно, при каких конкретно температурах были проведены экспериментальные исследования? В автореферате написано, что жидкое углеводородное горючее марки ТС-1 применялось в широком диапазоне эксплуатационных температур при полёте ЛА (значит, наверное, автор имел ввиду температуры, например, от – 40 °С до + 40 °С).

Но при температуре +40 °С горючее ТС-1 уже становится электропроводной средой. А кроме того, при работе форсунок происходит нагрев всех деталей (а значит, и горючего) до температур более 200 °С. Т.е., в форсунках активно происходит ещё и негативный процесс осадкообразования. Конечно, возможно из-за новых применяемых материалов нагрев форсунки тормозился (этих сведений нет в автореферате), но всё равно возникает вопрос:

как соискатель учитывал в своей работе (при проведении экспериментов и теоретических расчётов, при создании программ, методик и методологий) эти явления? Если соискатель не знаком с этими явлениями, то необходимо отметить, что частичное закоксовывание даже только одной форсунки любого ВРД (ГТД, ГПВРД и др.) приводит к нерасчётному струйному распылу с



дальнейшим прогаром жаровой трубы, пожаром и взрывом двигателя и всего ЛА.

Частичное закоксовывание нескольких форсунок, кроме того, приводит к частичной потере тяги. Полное закоксовывание – к полной потере тяги, к образованию течи в системе топливоподачи, к пожару и взрыву.

Например, штатная форсунка ВРД марки НК-8-2У самолёта Ту-154 полностью закоксовывается через 900 циклов (часов) работы, циклом необходимо считать запуск – останов двигателя даже без фазы полёта ЛА (при обслуживании с запуском двигателя).

Экспериментально установлено, что твёрдые углеродистые отложения образуются не только на металлических деталях топливных каналов и форсунок, но и на неметаллических – этот факт заставляет более внимательно рассмотреть рисунок 1 на стр. 18 автореферата, где показана впервые созданная форсунка для двигателя 5 поколения марки ПД-14.

Видно, что никаких существующих и перспективных систем защиты от осадкообразования в каналах форсунки там нет. А это означает, что ресурс данной новой форсунки – весьма ограничен, да ещё и неизвестен.

А что будет происходить при частичном закоксовывании каналов (или хотя бы одного канала) в этой новой форсунке – тоже неизвестно, хотя - прогнозировать возможно, т.е. это приведёт к негативным последствиям, независимо от того, чем и как будет осуществляться распыл жидкого углеводородного горючего.

Нужны полномасштабные (в том числе и по времени эксплуатации) экспериментальные исследования, которые заставят разработчиков и исследователей создавать более совершенные конструктивные схемы форсунок, в которых будут заложены многообразные существующие и перспективные способы защиты форсунки от осадкообразования – уже на ранней стадии проектирования.

Тот же вопрос возникает и при рассмотрении предфорсуночного канала (базового ЭУВТ), показанного на рис. 2 на стр. 23, где также отсутствуют способы и методы борьбы с осадкообразованием.

7. Из автореферата неясно, как соискатель в своих исследованиях учитывал скорость продувки воздуха через форсунку. Дело в том, что существуют граничные скорости прокачки газов (и воздуха), при которых влияние электрических полей сводится к нулю.

Например, экспериментально (Алтуниным В.А.) установлено, что при прокачке газообразного метана с массовой скоростью  $120 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$  и более - поперечные поля системы «Игла – игла» уже не влияют ни на какие тепловые



и гидро - (газо) динамические процессы, т.к. все электрические заряды уносятся потоком газа.

В автореферате нет данных о скорости воздуха в канале форсунки и на выходе из форсунки.

8. Из автореферата неясно, как соискатель в своих исследованиях учитывал скорость прокачки жидкого углеводородного горючего в каналах форсунки, из автореферата неясно какая конкретно скорость прокачки ТС-1 была в каналах форсунки (см. рис. 1 на стр. 18), а также в топливоподводящем канале перед форсункой (где тоже расположены рабочие участки с электрическими полями – см. рис. 2 на стр. 23) в ходе экспериментов.

Дело в том, что экспериментально (Алтуниным В.А.) установлено, что при скорости прокачки жидких углеводородных горючих более 6 м/с, например, электростатические поля не влияют на тепловые и гидро - (газо) динамические процессы, в том числе, и в ТС-1.

9. Из автореферата неясно, как учитывал (или не учитывал вообще) соискатель зоны насыщения, в которых дальнейшее повышение напряжения на рабочих участках не приводит к каким-либо увеличениям коэффициента теплоотдачи, к увеличению скорости прокачки (в случае электроконвекции) и к турбулизации потока горючего. Этот вопрос более всего касается предфорсуночного канала (см. рис. 2 на стр. 23), где режим работы электрических полей должен быть доискровым, т.е. до зоны насыщения. В автореферате отсутствуют конкретные данные о величинах подаваемых напряжений на рабочие участки и их предельных значениях, как на выходе из форсунки, так и в предфорсуночном канале (в проточной части базового ЭУВТ).

10. Желательно и необходимо при проектировании, расчёте, создании и эксплуатации новых двигателей и топливных форсунок, в частности, уже на ранней стадии проектирования комплексно учитывать все предполагаемые термодинамические состояния жидких углеводородных горючих и охладителей, все позитивные и негативные процессы, которые будут происходить в топливно-охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования, одно – и много-разового использования и двойного применения. Необходимо комплексно решать вопросы использования позитивных процессов и вопросы борьбы с негативными процессами. Нельзя однобоко решать только какую-то одну задачу при повышении эффективности, например, форсунок. Из автореферата следует, что соискатель, к сожалению, решал одну задачу, в основном, только по повышению эффективности распыла горючего и его сжигания, не учитывая других проблем и возможностей.



10. В автореферате встречаются: орфографические ошибки (не дописаны окончания слов, неправильные окончания слов); на стр. 6 сказано, что автор имеет 6 патентов на изобретение РФ, а на стр. 30 – написано – 7 патентов, что совпадает со списком его публикаций в конце автореферата.

Перечисленные выше недостатки не влияют на результаты всей диссертационной работы, а некоторые замечания, наверное, будут учтены соискателем и войдут в планы дальнейшей его научной и изобретательской деятельности по данному направлению.

В целом, автореферат оформлен правильно, содержит все необходимые пункты и удовлетворяет требованиям ВАК.

Можно считать, что данная диссертационная работа соискателя Колодяжного Дмитрия Юрьевича:

- является законченным научным трудом, выполненным в рамках реализации Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно – технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»;

- удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении научных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Считаю, что автор – Колодяжный Дмитрий Юрьевич - заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности: 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Профессор кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение»  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»,  
доктор технических наук,  
академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского

Алтунин  
Виталий Алексеевич

«10» марта 2020 г.

420111, Российская Федерация,  
Республика Татарстан,  
г. Казань, ул. К. Маркса, 10.  
КНИТУ-КАИ.

Электронная почта и телефон Алтунина В.А.: [altspacevi@yahoo.com](mailto:altspacevi@yahoo.com)

8-9600-432-965.

Подпись *Алтунина В.А.*  
заверяю. Начальник управления делами КНИТУ-КАИ

