

УДК. 621.4: 662.7

Комплекс присадок, уменьшающих коксование биотоплив в теплообменниках авиационных двигателей

М.Л. Яновская, А.А. Харин, И.В. Завалишин, А.В. Буданцев

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы разработки и использования присадок к биотопливам с целью предотвращения образования коксоотложений на стенках каналов теплообменных устройств газотурбинных авиационных двигателей. Описываются причины возникновения коксообразований и распределение их концентраций на плотность канала по его длине. Проводится подбор компонентов для создания полифункциональной присадки с условием выбора сырья из ассортимента, вырабатываемого российскими предприятиями.

Ключевые слова:

биотопливо; авиационное топливо; полифункциональная присадка; коксоотложение; газотурбинный двигатель; теплообменники

Анализ современного состояния и тенденций развития авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и реактивных топлив показывает, что одной из основных проблем, возникающих в ходе эксплуатации авиационных ГТД, является образование коксоотложений на стенках каналов теплообменных устройств ГТД.

Теплообменные аппараты при современных требованиях к ГТД, испытывающим значительные тепловые нагрузки, становятся неотъемлемой частью в семействе основных узлов наравне с компрессором, камерой сгорания и газовой турбиной. Такие топливо-воздушные теплообменные аппараты устанавливаются непосредственно на входе в двигатель, что позволяет дополнительно улучшить его термодинамическую эффективность.

Распространённым рельефом внутренней поверхности трубчатых каналов авиационных теплообменников является, в основном, гладкая поверхность, а также поверхность с оребрением различной формы, используемая для интенсификации

теплоотдачи. Расчёты интенсивности образования отложений в каналах с пристенной интенсификацией теплоотдачи, выполненные с использованием трёхстадийной кинетической модели [1], показали, что причина образования коксоотложений заключается в следующем. При высоких начальных температурах стенки, когда скорости реакций окисления топлива и образования продуктов окисления - вещества отложений - велики, образование отложений лимитируется диффузионными и миграционными процессами. Поэтому интенсификация теплоотдачи в этой области температур одновременно усиливает массообмен, то есть доставку неокисленного топлива к горячей поверхности, что приводит к росту отложений. Когда же температура стенки понизится настолько, что кинетика реакций окисления станет лимитирующим фактором, интенсификация теплоотдачи будет способствовать снижению количества отложений [2].

Такой характер влияния температуры стенки оказался общим в процессах окисления различных топлив (АБТ-авиационное биотопливо, ТС-1). Максимальное значение скорости образования отложений и перегрева стенки соответствует равенству кинетических и диффузионных факторов. Основной причиной, вызывающей постепенное закоксовывание стенок каналов в диапазоне температур 400-700К, является окисление исходного углеводорода растворенным в нем кислородом.

На рисунке 1 графически представлено распределение концентраций коксоотложений на стенку канала по его длине. Весь процесс образования коксоотложений на стенках ГТД условно можно разделить на три стадии. На первой стадии происходит взаимодействие растворённого кислорода с топливом с образованием промежуточных химически активных продуктов. На второй стадии эти продукты, взаимодействуя с топливом, образуют высокомолекулярные соединения (ВМС). И уже на третьей стадии эти ВМС, взаимодействуя между собой и со стенкой, образуют углеродистые отложения [3].

Традиционно применяющиеся добавки к топливу, такие как этиловый спирт, этилцеллозольв, этиленгликоль, H_2 , NO , N_2O обладают низкой эффективностью в предотвращении закоксовываемости стенок ГТД.

Из принятой в настоящее время во многих источниках схемы изменения свойств топлива при его нагреве до высоких температур следует, что стабилизация среднестиллятных топлив может быть осуществлена только при помощи композиции присадок, в которую должны входить как антиоксиданты, так и ингибиторы других процессов: поликонденсации гетероатомных соединений и коагуляции высокомолекулярных продуктов уплотнения [4].

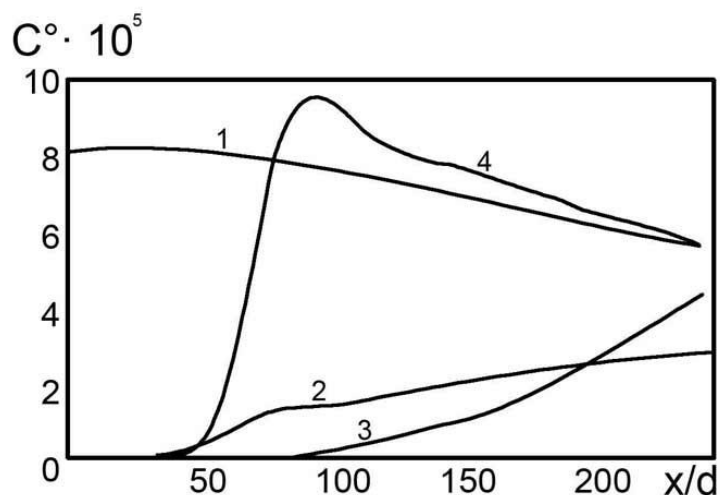


Рисунок 1 – Распределение среднемассовых концентраций продуктов жидкофазного окисления и массового потока вещества отложений на стенку канала по длине канала: 1 – кислород; 2 – промежуточный продукт; 3 – высокомолекулярные соединения; 4 – массовый поток вещества; C – концентрация; x/d – сечение канала.

В зарубежных разработках довольно широко распространены аминные антиоксиданты (товарные продукты представляют собой композиции на основе N, N'-дивторбутилпарафенилендиамина) и их композиции с экранированными фенолами. Но эти присадки также не обеспечивают высокотемпературной стабилизации топлив.

Таким образом, возникает необходимость создания полифункциональной присадки (ПФП). В результате выполнения Российским государственным университетом инновационных технологий и предпринимательства 2 этапа поисковой научно-исследовательской работы "Разработка научно-технологических основ создания и применения альтернативных топлив в газотурбинных энергетических и транспортных установках" в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы, были разработаны технические требования к полифункциональной присадке, позволяющей повысить на 80-100°C термоокислительную стабильность отечественного топлива МС-1 (ГОСТ 10227-86), наиболее широко применяемого в авиационных ГТД, что позволит снизить интенсивность коксоотложений на поверхностях теплонагруженных деталей ГТД.

Подбор компонентов полифункциональной присадки осуществлялся с условием выбора сырья из ассортимента, вырабатываемого исключительно российскими предприятиями.

Антиоксиданты – основная часть композиции. Они препятствуют протеканию

радикально-цепных процессов окисления и полимеризации углеводородов. К антиоксидантам могут быть отнесены следующие соединения: 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол, 2,2-метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенол), смесь экранированных фенолов и 4-оксидифениламин.

Деактиваторы металлов используются для усиления действия антиоксидантов за счёт связывания ионов меди – катализаторов окисления – в неактивные комплексы.

Дисперсанты являются необходимыми компонентами разрабатываемой присадки. Это подтверждается многочисленными опубликованными данными. Кроме того, дисперсант - основание Манниха алкилфенола входит в состав отечественной присадки ВЭМС, разработанной для стабилизации вторичных дизельных топлив. Чаще всего в качестве дисперсантов используются либо основания Манниха алкилфенолов, либо алкенилсукцинимиды. Каждое из них, помимо отличных диспергирующих свойств, характеризуется высокой термической стабильностью.

Нейтрализующие агенты также представляют интерес в качестве компонентов присадки, так как в их присутствии резко снижается каталитическая активность кислотных продуктов окисления в реакциях уплотнения. В уже упомянутой присадке ВЭМС роль нейтрализующего агента выполнял 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол «Основание Манниха», содержащий в своей молекуле третичную аминогруппу. По тому же принципу в разрабатываемой присадке в качестве нейтрализующего агента может выступать дисперсант С5А или его модификация С5Ам.

Деэмульгаторы стабилизирующих функций не выполняют, однако обязательно входят в состав современных присадок, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ), и необходимы для предотвращения образования стойких эмульсий топлива и воды. Отечественная промышленность вырабатывает большой ассортимент деэмульгаторов, практически все они представляют собой полиоксиалкилированные соединения. По условиям применения деэмульгаторы делятся на две группы: водо- и топливорастворимые. Для поставленных в работе целей пригодны топливорастворимые деэмульгаторы.

Растворители обеспечивают оптимальные физико-химические характеристики присадок, удобные для обращения с ними: транспортировки, хранения и ввода в топливо. В рамках проводимых исследований в качестве образца было использовано реактивное топливо МС-1.

На сегодняшний день уже синтезированы компоненты, предназначенные для составления полифункциональной присадки и дальнейших исследований по выявлению их оптимального содержания в композиции для повышения на 80-100°C термоокислительной

стабильности топлива МС-1, а именно:

- антиокислители: 2,2-метилен-бис (4-метил-6-трет-бутилфенол) и 3,5-ди-*трет*-бутил-4-гидрокси-бензил-N,N-диметиламин;
- диспергент: алкенилсукцинимид;
- деактиватор металлов: бис- (3,5-ди-*трет*-бутил-2-гидроксибензилиден)-этилендиамин.

Синтезированные компоненты могут быть применены в реальном секторе экономики при условии проведения дальнейших испытаний в составе авиабиотоплива. В результате работы получены образцы полифункциональной присадки к топливам, способной в значительной степени предотвращать коксообразование в каналах теплообменных устройств ГТД.

На основании полученных результатов, определены следующие направления продолжения исследований: определение энергетических, физических, противозносных и низкотемпературных свойств альтернативного топлива с ПФП, в том числе биотоплив, в широком диапазоне температур и давлений; определение кинетики термоокисления и термодеструкции альтернативных топлив с ПФП, в том числе биотоплив, и их смесей с авиакеросинами; экспериментальное изучения закономерностей физико-химических превращений в различных типах авиабиотоплив с ПФП.

Библиографический список

1. Киришев, Е.Л., Попов, В.Г., Потапов, А.Ю., Яновский, Л.С. Топливо-воздушные теплообменники авиационных двигателей [Текст]: Учебное пособие / Е.Л. Киришев, В.Г. Попов, А.Ю. Потапов, Л.С. Яновский. - М.: Издательско-типографский центр МАТИ, 2008. - 36 с.
2. Денисов, Е.Т., Ковалёв, Г.И. Окисление и стабилизация реактивных топлив [Текст] / Е.Т. Денисов, Г.И. Ковалёв. - М.: Химия, 1983. - 272 с.
3. Яновский, Л.С. Образование коксоотложений в тракте охлаждения ракетных двигателей, работающих на углеводородных горючих [Текст] / Л.С. Яновский // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Машиностроение». - 2006. - № 3(64). - С. 3-14.
4. Данилов, А.М. Применение присадок в топливах [Текст] / А.М. Данилов. - М.: Мир. - 2005. - 288 с.

Сведения об авторах

Яновская Мария Леонидовна, научный сотрудник Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, к.т.н., e-mail:rassiec@mail.ru.

Харин Александр Александрович, проректор Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, д.э.н., e-mail:Alexandr.XarinML@itbu.ru

Завалишин Игорь Владимирович, доцент Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, к.т.н., e-mail:rassiec@mail.ru.

Буданцев Александр Валерьевич, инженер-программист, аспирант Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, e-mail: rassiec@mail.ru.