

УДК 662.75

## МЕТОД ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ТОПЛИВ ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В.В. КОНДРАТЕНКО, И.М. НИКИТИН, В.В. СУЗИКОВ

В статье предложен новый метод оценки коррозионной активности топлив для реактивных двигателей в условиях омыwania оценочного элемента циркулирующим топливом. Приведена принципиальная схема установки для реализации предлагаемого метода, рассмотрены предварительные результаты исследования коррозионной активности топлив предложенным методом.

**Ключевые слова:** реактивные топлива, коррозионная активность.

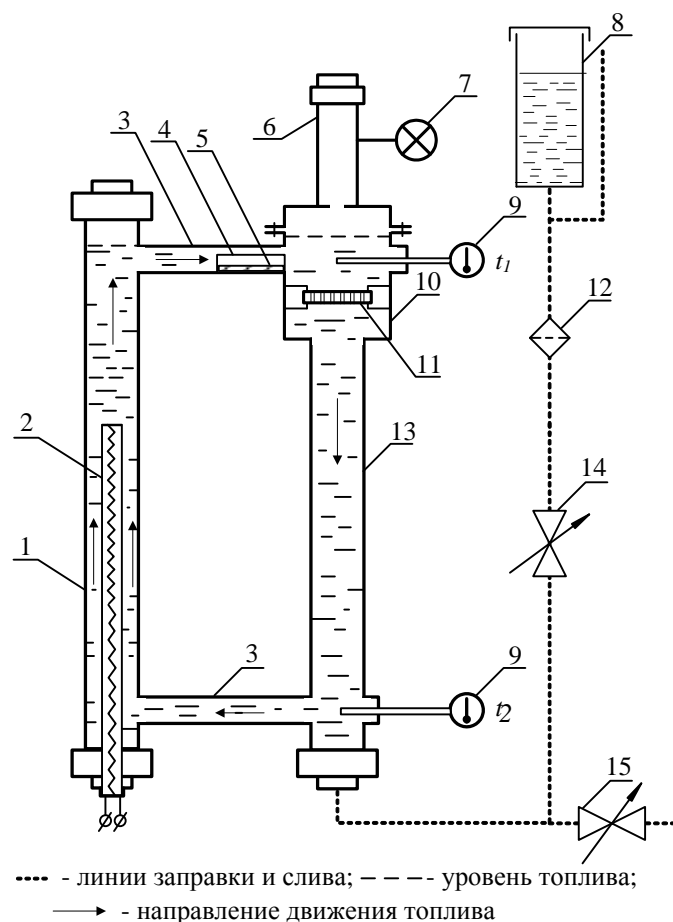
Достоверная оценка уровня качества топлив для реактивных двигателей является залогом обеспечения надежной эксплуатации авиационной техники. Коррозионная активность топлив по отношению к металлам, применяемым в конструкциях топливных систем авиационных ГТД, является одним из важнейших эксплуатационных свойств топлив для реактивных двигателей. В топливах, вырабатываемых из нефтяного сырья, всегда присутствуют химически-активные вещества, вызывающие коррозионное поражение сплавов, из которых изготавливаются детали агрегатов топливных систем ГТД, что может привести к отказам авиационной техники. Загрязнение топлива продуктами коррозии также отрицательно сказывается на эксплуатационной надежности авиационной техники. Часть этих продуктов, нерастворимая в топливе, оседает в виде отложений в узких каналах агрегатов и фильтрах топливной системы, нарушая их работоспособность, в то время как растворимые в топливе продукты коррозии снижают термоокислительную стабильность топлива.

В известном методе определения коррозионной активности топлив для реактивных двигателей при повышенных температурах по ГОСТ 18598 [1] топливо в реакционных сосудах принудительно не перемешивается. В таких условиях испытания, которые можно назвать статическими, топливо контактирует с оценочным элементом в условиях ограниченного конвективного перемешивания, что уменьшает наблюдаемое коррозионное поражение элемента и вынуждает увеличивать длительность испытания и проводить его в несколько этапов для получения коррозионного поражения, которое можно достоверно регистрировать.

В топливных агрегатах авиационных ГТД топливо прокачивается со значительными скоростями. Поэтому значительный интерес представляет изучение процессов воздействия коррозионно-активных компонентов топлива на детали, изготовленные из сплавов меди, в условиях их омыwania топливом.

Авторами настоящей статьи разработан метод оценки коррозионной активности топлив для реактивных двигателей в динамических условиях, реализованный на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1. Основным узлом установки является корпус из нержавеющей стали, включающий две вертикальные трубы 1 и 13, соединенные между собой сверху и внизу горизонтальными трубами 3. Трубы 1, 2 и 3 образуют герметичный замкнутый контур, заполненный испытываемым топливом.

Верхняя горизонтальная труба соединяет вертикальные трубы через стакан 10, предназначенный для размещения контрольного фильтроэлемента. В трубу 1 снизу вставлен трубчатый электронагреватель 2. На стакан 6 установлен компенсационный бачок 6 с манометром 7. Компенсационный бачок 6 во время испытания заполняется топливом вследствие его расширения при нагреве. Повышенное давление воздуха, которое в нем при этом создается, препятствует кипению топлива.



**Рис. 1.** Принципиальная схема установки для оценки коррозионной активности топлив для реактивных двигателей в динамических условиях:

- 1 – труба нагрева; 2 – нагреватель; 3 – соединительная труба; 4 – стеклянная трубка;  
 5 – пластинка из меди или бронзы; 6 – компенсационный бачок; 7 – манометр;  
 8 – заправочный бачок; 9 – датчик температуры; 10 – стакан; 11 – фильтроэлемент;  
 12 – предварительный фильтр; 13 – труба охлаждения; 14 – кран заправки;  
 15 – кран слива

Испытательный контур снабжен двумя термопарами 9, одна из которых размещена в стакане 6 напротив верхней соединительной трубы 3 над фильтроэлементом, а вторая – в нижней части контура напротив нижней соединительной трубы 3. Во время испытания поддерживается постоянная температура топлива в стакане 10, измеряемая верхней термопарой.

Во время испытания в контуре установки формируется циркуляционное движение топлива вследствие термосифонного эффекта, который достигается за счет нагрева топлива в одной из вертикальных труб (канале нагрева) с помощью электронагревателя и естественного охлаждения в остальных трубах. Нагретое топливо в трубе 1 поднимается и перетекает по верхней горизонтальной трубе в трубу охлаждения, в которой вследствие естественного охлаждения топливо опускается и по нижней горизонтальной трубе снова попадает в канал нагрева. В верхнюю горизонтальную трубу 3 со стороны стакана 10 вставляется стеклянная трубка 4, в которую укладывается пластинка 5 из меди марки М0к или бронзы марки ВБ-23 НЦ. Размеры пластинок соответствуют требованиям ГОСТ 18598. Коррозионную активность топлива оценивали по изменению массы пластинки за время испытаний.

Испытание проводили в три цикла продолжительностью три часа каждый. В каждом цикле поддерживалась постоянная заданная температура  $t_1$  в верхней части контура установки. Перед

очередным циклом установку заправляли свежей порцией топлива. Пластинки при этом не доставали, контур не промывали. Каждый последующий цикл проводили не позднее чем через 18 ч.

При разработке метода исходили из предположения, что циркуляция топлива должна привести к интенсификации процессов коррозии пластинки. Поэтому перед началом экспериментов по оценке коррозионной активности реактивных топлив провели серию контрольных испытаний в статических условиях - по ГОСТ 18598 и оценили величину скорости циркуляции топлива в контуре установки. Поскольку инструментальное измерение скорости циркуляции в контуре не представляется возможным, была проведена ее оценка на основе расчета теплового баланса контура установки при проведении испытания [2]. Расчет основывался на оценке уменьшения энтальпии топлива при его протекании по каналу охлаждения, поскольку снижение температуры топлива при этом может быть непосредственно установлено по показаниям термодатчиков в верхней и нижней частях контура. С учетом неопределенности, характерной для теплового расчета конвективного теплообмена с помощью критериальных зависимостей, было показано, что кратность циркуляции топлива в рассмотренной системе составляет (20...25) циклов в час.

В табл. 1 приведены характеристики режима испытания, регламентируемые ГОСТ 18598 и в предложенном методе.

Таблица 1

Основные характеристики режима испытаний в методах оценки коррозионной активности реактивных топлив в статических и динамических условиях

Условия испытания	В статических условиях (по ГОСТ 18598)	В динамических условиях (по разработанной методике)
Перемешивание топлива	Отсутствует	Умеренное, объемная скорость – 2,5 см <sup>3</sup> /мин, течение топлива происходит за счет разности температур в контуре
Температура испытания, °С	150	150
Количество циклов в испытании	5	3
Длительность цикла испытания, ч	5	3
Суммарная продолжительность испытания, ч	25	9
Количество топлива на 1 цикл испытания, дм <sup>3</sup>	400	350
Количество топлива на 1 испытание, дм <sup>3</sup>	2,0	1,05

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что длительность испытания на установке в 2,8 меньше, чем суммарное время испытания, регламентируемое ГОСТ 18598, а длительность одного цикла испытания меньше в 1,7 раза. Топливо в разрабатываемом методе расходуется в 2 раза меньше, чем в испытании по ГОСТ 18598. Таким образом, при практически сопоставимом объеме топлива в одном цикле испытания в динамических условиях контакт пластинки с топливом существенно сокращен, также уменьшено и суммарное время контакта топлива с пластинкой.

Для отработки методики испытания были использованы две керосиновые фракции - прямоугольная (ПКФ) и гидроочищенная (ГКФ) (табл. 2).

Таблица 2

Основные физико-химические свойства исследуемых керосиновых фракций

Показатель	Фактическое значение		Метод испытания
	ПКФ	ГКФ	
Массовая доля общей серы, %	0,075	0,0006	по ГОСТ Р 51947
Массовая доля меркаптановой серы, %	0,0166	0,0002	по ГОСТ 17323
Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива	0,75	0,1	по ГОСТ 5985

ПКФ выступала в роли модельного топлива с высокой коррозионной активностью, а ГКФ – с низкой. Кроме того, для испытаний готовились смеси этих фракций в различных соотношениях. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Коррозия меди и бронзы в статических и динамических условиях

Соотношение ПКФ и ГКФ, % об.	Коррозионная активность топлива, г/м <sup>2</sup>			
	В статических условиях (по ГОСТ 18598)		В динамических условиях (по разрабатываемому методу)	
	по отношению к меди	по отношению к бронзе ВБ-23НЦ	по отношению к меди	по отношению к бронзе ВБ-23НЦ
0	9,1	6,0	9,2	1,1
50	3,5	2,4	4,2	0,4
70	1,9	1,5	2,9	0,2
100	0,4	0,6	0,8	0

При эксплуатации летательных аппаратов, когда в топливной системе происходит непрерывное обновление топлива, с увеличением продолжительности эксплуатации будет расти коррозия деталей топливной аппаратуры, изготовленных из цветных металлов и их сплавов. В ГОСТ 18598 это обновление моделируется за счет смены топлива в каждом последующем цикле (этапе) испытания. Такое же обновление предусмотрено и в разрабатываемом методе оценки коррозионной активности в динамических условиях. Кроме обновления топлива, большое влияние на развитие процессов химической коррозии оказывает перемешивание топлива. В условиях работающего реактивного двигателя топливо в топливных агрегатах подвергается интенсивному перемешиванию. Увеличение скорости перемешивания способствует повышению интенсивности химической коррозии в реактивных топливах, поскольку при перемешивании происходит более интенсивный приток коррозионно-активных компонентов реактивных топлив к деталям топливных агрегатов. Движущееся топливо более интенсивно смывает с поверхности деталей продукты коррозии. При этом происходит обнажение поверхности и более интенсивная ее коррозия. Перечисленные причины ускорения процессов коррозии при перемешивании топлива проявились и в рассматриваемых динамических условиях испытания. Так, при сопоставимом уровне коррозии меди в разрабатываемом методе и стандартное время пребывания пластинки в нагретом топливе, как было указано выше, существенно меньше. Однако анализ результатов испытания бронзовой пластинки показывает, что коррозия бронзы в условиях перемешивания уменьшилась. Этот на первый взгляд парадоксальный результат исследований имеет свое логичное объяснение. В основе этого объяснения лежит известный факт о значительно большей коррозионной стойкости по сравнению с медью бронзы ВБ-23НЦ, содержащей в своем составе никель и цинк [3]. Пластинка из меди – металла, активно участвующего в реакциях с коррозионно-агрессивными соединениями, в условиях умеренного перемешивания топлива непрерывно находится под воздействием этих компонентов, на поверхность металла постоянно подаются химически активные соединения, которые вследствие каталитического влияния меди, активно вступают в реакции окисления на ее поверхности, в результате чего образуется еще большее количество соединений, интенсифицирующих процессы коррозии. То есть процессы коррозии медной пластинки идут с автокаталитическим ускорением. Это и приводит к увеличению потери массы медной пластинки в условиях циркуляции топлива по сравнению со статическим методом по ГОСТ 18598. На поверхности пластинки из коррозионно-стойкой бронзы указанные выше процессы окисления нестабильных компонентов и коррозии сплава протекают значительно медленнее, чем на меди. Подача нового объема топлива в процессе его течения к поверхности бронзовой пластинки приводит к существенному разбавлению сложившейся на ее поверхности концентрации коррозионно-активных продуктов окисления более свежими порциями топлива. Таким образом, коррозия бронзовой пластинки (именно из ВБ-23НЦ) в процессе

умеренного перемешивания топлива будет существенно замедляться, естественно, по сравнению со статическими условиями.

Представленные результаты показывают, что процессы обтекания металлической поверхности топливом оказывают существенное влияние на интенсивность его коррозионного воздействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ 18598-73.** *Топливо для реактивных двигателей. Метод определения коррозионной активности при повышенных температурах.* М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1981.
2. *Теория теплообмена: учебник для вузов / под ред. А.И. Леонтьева.* М.: Высшая школа, 1979.
3. **Пискунов В.А., Зрелов В.Н.** *Влияние топлив на надежность реактивных.* М.: Машиностроение, 1978.

#### EVALUATION METHOD OF JET AIRCRAFT FUEL CORROSION ACTIVITY UNDER DYNAMIC CONDITIONS

**Kondratenko V.V., Nikitin I.M., Suzikov V.V.**

A new evaluation method of jet aircraft fuel corrosion activity in the condition of flowing the rotatable unit over with circulative fuel is presented in this article. The flow sheet for implementation of this method and preliminary results from the tests of jet fuel corrosion activity are introduced.

**Keywords:** jet fuels, corrosivity.

#### REFERENCES

1. **GOST 18598-73.** *Toplivo dlja reaktivnyh dvigatelej. Metod opredelenija korrozionnoj aktivnosti pri povyshennyh temperaturah.* М.: Gosstandart Rossii: Izd-vo standartov. 1981. (In Russian).
2. *Teorija teplomassoobmena: uchebnik dlja vuzov.* Pod red. A.I. Leont'eva. М.: Vysshaja shkola. 1979. (In Russian).
3. **Piskunov V.A., Zrel'ov V.N.** *Vlijanie topliv na nadezhnost' reaktivnyh.* М.: Mashinostroenie. 1978. (In Russian).

#### Сведения об авторах

**Кондратенко Валерий Викторович**, 1977 г.р., окончил Ульяновское ВВТУ им. Б. Хмельницкого (1994), ВАТТ им. А.В. Хрулева (2008), старший научный сотрудник НИЦ квалификационной оценки топлив и масел ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 10 научных работ, область научных интересов – квалификационные испытания авиационных топлив и масел.

**Никитин Игорь Михайлович**, 1954 г.р., окончил МФТИ (1977), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИЦ квалификационной оценки топлив и масел ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор более 30 научных работ, область научных интересов – квалификационные испытания авиационных топлив и масел.

**Сузиков Владимир Викторович**, 1963 г.р., окончил Харьковское ВВАИУ (1986), ВВИА им. Н.Е. Жуковского (1994), научный сотрудник НИЦ квалификационной оценки топлив и масел ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 15 научных работ, область научных интересов – квалификационные испытания авиационных топлив и масел.