

Е.Я.Кузнецова

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКЛОННОСТИ К СМОЛООБРАЗОВАНИЮ ТОПЛИВ  
ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ВОЗДУШНОГО СУДНА**

*Описан новый метод определения склонности к смолообразованию топлива. Полученные результаты исследований дают основания рекомендовать этот показатель и разработанный метод для введения в перечень показателей контрольного анализа качества. Это обеспечит возможность обнаружения начала ухудшения качества топлива при управлении процессом подготовки топлива к заправке в самолет.*

Эксплуатация воздушного судна – это совокупность целого ряда процессов, среди которых важное значение имеет взаимосвязь процесса обеспечения топливом с процессом технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники.

Процесс обеспечения воздушного судна топливом состоит из следующих этапов: загрузка топлива в транспортные средства на нефтеперерабатывающем заводе, доставка в авиапредприятие, слив и хранение топлива, подготовка и заправка топлива в самолет. На всех этих этапах топливо подвергается действию внешних факторов. Этими внешними факторами являются кислород воздуха, температура и ее колебания, время хранения, степень заполнения резервуаров, интенсивность перекачек, запыленность и влажность окружающей атмосферы, и характер сообщения с ней топлива, контакт с металлами, воздействие света, радиации и микроорганизмов. Все эти факторы ухудшают качество топлива.

Химический состав современных топлив как отечественных, так и зарубежных хорошо изучен и представляет собой оптимальную смесь органических соединений, которая обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства. Однако процессы окисления топлива в принципе предотвратить нельзя, можно только изучать их протекание и предпринимать действия по учету и уменьшению степени их влияния на качество топлива. При окислении топлива в нем образуются дополнительно смолистые соединения. На этапах хранения и подготовки топлива к заправке осуществляются необходимые действия по уменьшению влияния внешних факторов на процессы окисления топлива и постоянный контроль за качеством образовавшихся смолистых веществ. Известно, что заправка самолета топливом с повышенным содержанием смолистых веществ вызывает забивку фильтров, образование отложений и нагара на всех агрегатах топливной системы самолета, в результате чего появляются отказы и неисправности. Сложность и неопределенность задачи в выявлении отказов и неисправностей топливной системы по этим причинам состоит в том, что они происходят внезапно и нельзя указать точно, какое именно заправленное топливо, содержавшее какое-то количество смол, вызвало данный отказ или неисправность.

Применение топлива недостаточного качества снижает ресурсы техники из-за возникающих эксплуатационных дефектов, что в свою очередь повышает затраты на ТОиР в эксплуатационных предприятиях гражданской авиации.

Содержание смолистых веществ в топливе, при котором разрешается заправка самолетов в соответствии с ГОСТ 10227–86, составляет для топлива ТС-1 не более  $5 \text{ мг}/100 \text{ см}^3$ , в соответствии с ГОСТ 16564–71 для топлива РТ – не более  $4 \text{ мг}/100 \text{ см}^3$ , для топлива Jet A-1 по спецификации D 1655–81 – не более  $7 \text{ мг}/100 \text{ см}^3$ .

Многолетний опыт эксплуатации воздушных судов и научные исследования показали, что такое содержание смолистых веществ в топливе для реактивных двигателей является оптимальным, в результате чего обеспечивается необходимый уровень надежности топливной системы самолета и двигателя.

Задача специалистов, занимающихся применением топлив в предприятиях гражданской авиации, сводится к созданию таких условий хранения и передвижения топлива, при которых процессы окисления и смолообразования в топливе были бы минимальными.

Так, основываясь на статистических данных, можно представить изменение концентрации смолистых веществ  $C(t)$  при хранении топлива формулой вида:

$$C(t) = C_0 + V t,$$

где  $C_0$  – концентрация смолистых веществ в начале хранения, мг/100 см<sup>3</sup>;  $V$  – скорость образования смолистых веществ, мг/(100 см<sup>3</sup>·ч);  $t$  – время хранения топлива, ч.

Исходная концентрация смолистых веществ  $C_0$ , определенная в начале хранения топлива, зависит от химического состава нефти, из которой выработано топливо, технологических процессов, применяемых при производстве данной марки топлива. Скорость образования  $V$  смолистых веществ определяется способом хранения топлива (в подземных или наземных резервуарах), климатическими условиями (средняя или южная зона) и начальными условиями хранения ( $C_0$ ). Учитывая эти факторы, на основе метода наименьших квадратов подобраны средние значения коэффициентов  $C_0$  и  $V$ . Тогда изменение концентрации смолистых веществ при хранении топлива можно описать формулой

$$C(t) = 5,3 + 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot t.$$

В настоящее время разработаны мероприятия, способствующие уменьшению смолообразования при хранении топлива:

- хранение топлива в инертном газе (азоте), которое в эксплуатации не практикуется, хотя экономическая целесообразность очевидна;

- хранение топлива в резервуарах, заполненных на 90-95 %, с использованием плавающих крыш, пластмассовых понтонов, снижающих площадь контакта топлива с атмосферой, которое позволяет замедлить процессы смолообразования;

- осушка топлива в резервуарах со специальным устройством, принцип действия которого основан на удалении воды из топлива барботажем его холодным воздухом или нейтральным газом. При этом можно создать резервуар для хранения топлива, не связанный с атмосферой. К сожалению, в эксплуатации этот способ обезвоживания топлива не используется;

- использование подземных резервуаров, окраска наземных резервуаров алюминиевой пудрой, установка на дыхательных клапанах резервуаров воздушных фильтров, покрытие внутренних поверхностей резервуаров специальными эмалями.

Эти методы, как показывает опыт, позволяют лишь несколько уменьшить скорость протекания процесса окисления топлива и смолообразования в нем. Для контроля эффективности и правильности их использования проводят анализ качества хранимого топлива в установленные сроки. Для обнаружения начала изменения качества топлива через три месяца хранения топлива выполняют контрольный анализ. Его показателями являются: плотность при 20°C, фракционный состав, содержание водорастворимых кислот, содержание механических примесей и воды, температура вспышки в закрытом тигле.

В перечень показателей контрольного анализа не входит показатель, который характеризовал бы скорость протекания окислительных процессов, т.е. склонность топлива к смолообразованию. По мнению автора необходимо ввести в перечень контрольного

анализа топлива для реактивных двигателей определение показателя качества "склонность к смолообразованию".

В исследовательских целях для оценки склонности к смолообразованию используют методы, основанные на окислении топлива в различных условиях. В одних методах топливо окисляют кислородом воздуха под действием температуры в присутствии катализатора, для чего требуется несколько часов, в других – топливо окисляют в условиях, приближенных к реальному хранению в течение нескольких недель или месяцев. Критериями оценки склонности топлива к смолообразованию в этих методах служит количество потенциальных смол, нерастворимых в топливе смол и осадка.

Под потенциальными понимают смолы, которые образуются в топливе при его окислении, определяемые по приросту фактических смол до и после окисления. Эти методы характеризуются длительным временем испытания топлива, повышенными температурами и не отражают окислительные процессы, протекающие в топливе в реальных условиях.

Автор предлагает метод определения склонности к самообразованию топлива для реактивных двигателей, основывающийся на воздействии ультрафиолетового и видимого излучения. При поглощении излучения молекулы вещества переходят в возбужденное состояние, в котором вступают в химические реакции, протекающие в обычных условиях под воздействием высоких температур, давления или в присутствии катализатора. В состав реактивных топлив входят следующие органические соединения: алканы (до 50 %), нафтены (до 40 %), ароматические углеводороды (до 15 %), гетероатомные соединения (до 1 %). Алканы в реактивных топливах представлены углеводородами нормального и изостроения с числом углеродных атомов от  $C_9$  до  $C_{18}$ . Алканы практически не поглощают излучения с длиной волны более 0,18 мкм. Из нафтеновых углеводородов в состав реактивных топлив входят моно-, би- и трициклические углеводороды. Подобно алканам они поглощают излучения с длиной волны менее 0,18 мкм. Ароматические углеводороды реактивных топлив представлены гомологами бензола, максимум поглощения которых находится около 0,19, 0,24 и 0,28 мкм. Гетероорганические соединения содержат в молекулах атомы серы, кислорода, азота отдельно или совместно и являются тем строительным материалом, из которого состоят как природные смолистые вещества, так и новообразующиеся при хранении топлива. Их максимум поглощения сдвинут в сторону длинных волн. Поэтому в предлагаемом методе используется излучение ртутной лампы, спектр которой лежит в интервале длин волн от 0,25 до 0,577 мкм. К тому же такой спектральный состав излучения близок к солнечному, что позволяет воспроизвести реальное воздействие на топливо в эксплуатации.

Из проведенного анализа литературных источников следует, что для фотохимических работ нужно использовать реактор из кварцевого стекла, а слой вещества, в котором происходят фотохимические превращения, необходимо постоянно обновлять. Для исследований был изготовлен кварцевый реактор, имеющий форму пробирки, который герметично закрывается. Объем топлива – 50 мл. Излучение ртутной лампы ПРК-2 подавалось на боковую поверхность реактора. Топливо в реакторе постоянно перемешивалось в течение 15 мин. Выполнялось два последовательных облучения в разных реакторах. Под склонностью к смолообразованию топлива в этом случае понималось количество смолистых веществ, образовавшихся под действием излучения за время анализа.

Количество образовавшихся смол определялось по разности углов поворота плоскости поляризации плоско поляризованного света до облучения топлива и после. Метод определения содержания смолистых веществ в топливе для реактивных двигателей по величине угла поворота плоскости поляризации света и схема устройства описаны в работе [6].

Предлагаемый метод окисления топлива позволяет получить воспроизводимые результаты эксперимента в пределах погрешности метода.

В таблице представлены результаты исследований.

Результаты исследований значений угла поворота  
до и после облучения товарного топлива РТ

Топливо	Угол поворота, угл. мин			
РТ <sup>0</sup>	314,7 ± 8			
РТ <sub>1</sub> <sup>15</sup>	294,0 ± 8	292,2 ± 8	289,0 ± 8	301,2 ± 8
РТ <sub>2</sub> <sup>15</sup>	292,2 ± 8	289,8 ± 8	298,2 ± 8	298,8 ± 8
Среднее значение	293,1 ± 8	291,3 ± 8	294,0 ± 8	300,0 ± 8

Индексы вверху указывают на время облучения образца в минутах, а внизу – номер реактора.

Этот метод имеет следующие достоинства в сравнении с методами, описанными в научной литературе: малое время анализа, избирательность воздействия, высокая точность определения образовавшихся смол. Так, количество образовавшихся при облучении смол определялось новым методом по величине угла поворота плоскости поляризации света и по ГОСТ 8489–85 (метод определения содержания фактических смол). Получены следующие результаты: до облучения содержание смол составляет 2,6 0,4 мг/100 см<sup>3</sup> и 3,75 2 мг/100 см<sup>3</sup>, новым методом и по ГОСТ 8489-85 соответственно; после облучения – 6,1 0,4 мг/100 см<sup>3</sup> и 9,0 2 мг/100 см<sup>3</sup> новым методом и по ГОСТ 8489–85 соответственно. В пределах погрешности метода по ГОСТ 8589–85 результаты коррелируют. За допустимое значение склонности к смолообразованию топлива предлагается принять содержание смол после длительного хранения в соответствии с ГОСТ 16564–71 для топлива РТ не более 6,0 мг/100 см<sup>3</sup> и по ГОСТ 10227–86 для топлива ТС-1 не более 7,0 мг/см<sup>3</sup>. С помощью предлагаемого метода оценки склонности к смолообразованию топлива для реактивных двигателей возможно обнаружить начало изменения качества топлива при хранении в эксплуатации. В зависимости от полученных результатов анализа принимается решение о возможности дальнейшего хранения топлива или о его первоочередном использовании, или о необходимости восстановления качества топлива по этому показателю, или о проверке условий его хранения и принятии соответствующих мер, предотвращающих ухудшение его качества при хранении. Специалисты получают возможность принять соответствующее решение и меры по управлению режимами хранения топлива и предотвращению ухудшения его качества. Появляется возможность предвидеть и замедлить развитие отказов и неисправностей агрегатов топливной системы самолета и двигателя, что приведет к удешевлению ТОиР.

#### Список литературы

1. *Василенко В.Т., Черненко Ж.С.* Влияние эксплуатационных факторов на топливную систему самолетов.–М.:Машиностроение, 1986. –184 с.
2. *Комаров А.А.* Надежность воздушных судов. –К.:КМУГА, 1995. –416 с.
3. *Литвинов А.А.* Основы применения горюче-смазочных материалов в ГА. – М.:Транспорт, 1987.–308 с.
4. *Саблина З.А.* Состав и химическая стабильность моторных топлив. –М.:Химия, 1972. –297 с.
5. *Инструкция по применению и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в гражданской авиации.* Приказ № 265. – М.:Воздуш. транспорт, 1986. –200 с.
6. *Кузнецова Е.Я., Конончук Е.П.* Определение содержания смол в авиационном топливе магнитооптическим методом//Вопросы химмотологии и эксплуатации авиационной наземной техники: Сб. науч. тр.–К.:КМУГА, 1996. – С.72–75.

Стаття надійшла до редакції 28 листопада 1999 року