

## РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРИБОРУ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ТОПЛИВАХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

*Н.С. Кулик, д-р техн. наук, проф., Г.Н. Никитина, Национальный авиационный университет,*

*С.В. Бойченко, канд. техн. наук, доц., Украинский Центр авиационной химмотологии*

*А.В. Кумейко, Государственный международный аэропорт Борисполь, г. Киев, Украина*

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. В проблеме надежной и безопасной эксплуатации воздушных судов гражданской авиации существенная роль принадлежит организации, методам и техническим средствам контроля качества при приеме, хранении и использовании топлив и иных ГСМ. Многочисленными исследованиями различных авторов убедительно показана зависимость уровня надежности авиационной техники, а именно: воздушных судов от наличия в авиационных ГСМ воды.

В связи с этим важным показателем качества топлива, заправленного в воздушное судно, есть содержание воды в топливе.

Наличие в топливе воды может оказывать негативное воздействие на работоспособность воздушного судна и двигателей как непосредственно после заправки и вылета, так и в течение длительной эксплуатации. Так, фильтруемость топлива при низких температурах может ухудшиться в результате кристаллизации эмульсионной или выделяющейся из топлива растворенной воды в течение всего несколько минут.

Целый ряд негативных последствий оказывает вода в топливе на самолетную топливную систему [2]. Длительное использование обводненного топлива вызывает коррозию деталей (преимущественно стальных) топливной и топливорегулирующей аппаратуры двигателя. Коррозия, вызванная присутствием воды, проявляется в виде местных потемнений, отдельных пятен, ржавчины и мелких точечных поражений поверхности металла. При этом в топливе образуются коричневые хлопья, состоящие из гидроокиси железа.

Это, в свою очередь, может привести к отказу топливного плунжерного насоса из-за зависания клапа-

на постоянного перепада давления или смещения гильзы золотника регулятора частоты вращения относительно корпуса регулятора, к заеданию поршня ограничителя нарастания давления топлива. Также возможно зависание втулки на штоке гидрозамедлителя, золотника распределительного клапана. Может происходить отказ в работе клапана автомата запуска, зависание золотника в автомате приемистости, что приводит к нестабильной работе двигателя на переходных режимах. При использовании обводненного топлива жиклеры и дроссели топливорегулирующей аппаратуры могут забиваться капельной водой, что приводит к занижению параметров двигателя по расходу топлива и тяги, а также наблюдается неустойчивая работа двигателя.

В связи с этим требования к качеству авиационных топлив в обязательном порядке содержат жесткие ограничения на предельный уровень их обводненности. Норма содержания свободной воды в заправляемом реактивном топливе составляет не более 0.003% масс. При эксплуатации же авиационной техники общее содержание воды в реактивных топливах достигает 0.008 - 0.010 % масс, в том числе растворенной – в пределах 0.002 - 0.007 % масс. Установлено, что только в период заправки обезвоженного топлива в бак самолета его влагосодержание повышается на 0.0005-0.001 % масс. Теоретически же обоснован уровень допустимого, безопасного общего влагосодержания реактивного топлива (при его использовании без АВК присадки) – не более 0.002% масс. [1].

Предупреждение перечисленных выше отрицательных последствий использования обводненного топлива включает в себя, во-первых, контроль содер-

жания воды в нем и, во-вторых, удаление воды из топлива различными методами.

Рассмотрим первую задачу – задачу контроля содержания в топливах воды. Очевидно, что приборы, используемые для контроля содержания воды в авиационных ГСМ, должны обладать необходимой чувствительностью, точностью и воспроизводимостью результатов измерений. Для того, чтобы обеспечить контроль в рамках действующих норм, соответствующие приборы должны иметь возможность измерять концентрацию воды в топливе до 0.001-0.003% масс и, следовательно, обладать чувствительностью не ниже 0.0001%.

#### Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем.

Разработаны различные методы определения содержания воды в топливах.

Метод, основанный на взаимодействии гидрида кальция с водой, содержащейся в топливе, позволяет судить о количестве воды по объему выделившегося водорода. Проводят испытание в специальном приборе, количество воды определяют расчетным путем. Результаты испытания в данном методе зависят от точности измерения объема выделившегося водорода, герметичности прибора и отсутствия колебаний температуры окружающего воздуха.

Метод Фишера заключается в титровании топлива специальным реактивом Фишера (в состав которого входят йод  $I_2$ , сернистый ангидрид  $SO_2$ , пиридин  $C_5H_5N$ , метанол  $CH_3OH$ ) до окрашивания испытуемого продукта в красновато-коричневый цвет (характерный цвет йода) и расчете концентрации воды по объему израсходованного на титрование реактива. Данный метод позволяет определять концентрацию воды в широких пределах и имеет большую точность по сравнению с методом с использованием гидрида кальция.

Хроматографический способ с использованием газового хроматографа предназначен для определения содержания растворенной в топливе воды, имеет достаточную точность и малое время проведения испытания – 7-10 минут [3].

Диэлькометрический метод определения количества эмульсионной воды в нефтепродуктах проводит-

ся с использованием влагомеров (ИВН-95, ИВН-95С, ИВН-2003, ИВН-2002), работающих в области высоких концентраций воды (до 20% объемных).

Эмульсионная вода в топливе может фиксироваться также оптическими методами. За рубежом широко используют автоматические приборы, работающие по такому методу. В английском приборе «Аква-сан» (типа электрофотонелометра) определяется интенсивность света в видимом диапазоне волн при его прохождении через исследуемое топливо с взвешенными в нем микрокаплями нерастворенной воды. Полученная интенсивность сравнивается с интенсивностью света, проходящего через то же испытуемое топливо, находящееся в эталонной камере, но нагретое до полного растворения воды. На таком же принципе основана работа фотометрического прибора, разработанного в КИИГА П.Ф. Максютинским, Ж.С. Черненко, в котором топливо в эталонной камере обезвоживается сухим воздухом.

В США, Англии разработаны электролитические анализаторы влажности. Они предназначены для контроля общей воды в топливе. Определение в них проводят путем количественного электролиза воды в специальных ячейках.

В основу работы целого ряда приборов контроля обводненности жидкостей заложен принцип, который основан на изменении цвета химических веществ в присутствии воды.

В США разработан портативный прибор «Гидроскан», в котором имеются наборы рабочих и эталонных пористых дисков, покрытых водочувствительной флуоресцирующей в ультрафиолетовом свете пленкой уранового красителя. При пропускании через диск топлива, содержащего нерастворенную воду, изменяется цвет красителя в точках контакта капель воды с диском. Полученный результат сравнивается с эталонным. Эталонные диски откалиброваны на 0, 0.0005 и 0.002% воды.

Достаточно известны методы, в которых для констатации наличия воды используются различные порошковые, бумажные или пастообразные индикаторы, которые изменяют свой цвет при контакте с водой.

Например, индикатор свободной воды ИСВ-РШ в качестве активного вещества использует  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , который нанесен на фильтровальную бумагу «Красная лента» [2]. Индикатор по-разному окрашивается в зависимости от концентрации воды.

В гражданской авиации на сегодняшний день стандартными являются визуальный и метод контроля содержания воды с использованием прибора «ПОЗ-Т». Принцип действия прибора основан на изменении цвета индикаторного элемента при пропускании через него контролируемого продукта. По количеству отпечатков и относительной интенсивности их окраски определяется содержание эмульсионной воды. Индикатор реагирует на присутствие эмульсионной воды от 0.001 до 0.003% масс.

Цель исследований. Представляет интерес вопрос исследования особенностей контроля обводненности топлив применительно к задачам гражданской авиации.

Известно, что фазовые переходы воды в реактивных топливах происходят чрезвычайно быстро и, следовательно, также быстро меняется степень опасности того или иного содержания воды, находящейся в различных агрегатных состояниях в топливе. Наибольшую опасность представляет ситуация с дозаправкой воздушного судна после выполнения продолжительного полета. Особенность такой ситуации состоит в том, что температура топлива в баках самолета в полете снижается до  $-35^\circ\text{C}$ . Очевидно, что после посадки в баках остается определенное количество топлива: большее или равное аэронавигационному запасу. В процессе дозаправки в топливные баки подается топливо из топливозаправщика или централизованной системы заправки аэропорта, температура заправляемого топлива значительно отличается от температуры неизрасходованного топлива в баках. При смешивании топлив с различными температурами происходит усреднение температуры по известным законам. Снижение температуры заправленного топлива приводит к явлению, обусловленному законом Генри. Закону Генри подчиняется растворимость воды в топливе:

$$q = q_0 \psi \frac{P}{P_0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^n,$$

где  $q$  – максимальная растворимость воды при заданных условиях, % масс;

$q_0$  – максимальная растворимость воды в топливе при  $\psi = 1$ ,  $P = 0,1$  МПа,  $T = 293$  К;

$P$  – давление воздуха в надтопливном пространстве, МПа;

$\psi$  – относительная влажность воздуха, %;

$T$  – температура топлива и воздуха, К;

$n$  – показатель степени, зависящий от типа и марки топлива.

Таким образом, непосредственно после заправки ВС в топливных баках возникает вероятность выделения эмульсионной воды, которая резко увеличивает вероятность возникновения опасных ситуаций и предпосылку к летным происшествиям. В худшей ситуации переохлажденные капли воды поступают вместе с топливом на топливный фильтр и при столкновении с фильтропакетом вызывают мгновенное обмерзание фильтра и резкое снижение или полное прекращение подачи топлива в камеру сгорания двигателя.

Результаты исследований. Следовательно, результаты контроля на содержание воды в топливе должны быть получены непосредственно после заправки топливом воздушного судна перед вылетом. Причем согласно вышеизложенному, важно иметь данные о содержании общей воды в топливе - эмульсионной и растворенной. Необходимость контроля содержания растворенной в топливе воды обосновывают авторы в работе [3].

Рассмотрим бюджет времени воздушного судна, находящегося на промежуточной стоянке:

- время стоянки воздушного судна – шестьдесят минут;
- время высадки пассажиров – десять минут;
- время для заправки воздушного судна – пятнадцать минут;
- время посадки пассажиров – пятнадцать минут.

Таким образом, располагаемое время для анализа составляет около двадцати минут (с учетом того, что он должен быть выполнен до посадки пассажиров в воздушное судно). Если такой анализ выполняется на лабораторных приборах (например, по методу Фишера), то для его проведения требуется следующее время:

- время отбора пробы – пять минут;
- время транспортировки пробы в лабораторию – десять минут;
- время проведения анализа – тридцать – шестьдесят минут (в зависимости от метода);
- время передачи полученных результатов экипажу воздушного судна – десять минут.

Таким образом, суммарное время составляет пятьдесят пять – восемьдесят пять минут, что значительно превышает располагаемое время.

С сожалением можно констатировать, что на сегодняшний день существует ограниченный выбор приборов количественного контроля содержания воды в топливах, позволяющих приблизиться к вышеназванным значениям точности, чувствительности и воспроизводимости. Это хорошо известные методы Фишера - гидрид кальциевый.

Оба этих метода (в том числе метод Фишера с использованием автоматизированной установки) применяются исключительно в лабораторных условиях, проведение испытаний требует достаточно высокой квалификации оператора, занимает продолжительное время. Реактив Фишера, обладая универсальностью, высокой избирательностью и чувствительностью по отношению к воде, имеет существенные недостатки: он высокотоксичен и малоустойчив, обладает исключительно высокой гигроскопичностью. Поэтому требует особых условий хранения и работы с реактивом.

Остальные вышеназванные приборы не удовлетворяют обозначенным в статье требованиям либо по временному фактору, либо по диапазону измерений, а, следовательно, и по чувствительности. Так, приборы диэлькометрического метода работают в диапазоне 0.5 – 20.0% объемного влагосодержания. Хроматографический метод определяет содержание только растворенной воды. Фотометрические приборы фик-

сируют только эмульсионную воду. Простой и удобный метод с использованием прибора «ПОЗ-Т» является полуколичественным.

**Выводы.** С учетом вышеизложенного очевидно, что применительно к задачам гражданской авиации существуют определенные специфические требования, которые должны предъявляться к приборам контроля уровня обводненности топлив. Такой специфической особенностью является не только диапазон измерений, но и располагаемое время контроля. Сочетание этих двух факторов определяет область предельных характеристик приборов применительно к гражданской авиации, при разработке новых приборов необходимо, чтобы последние находились в этой области.

**Перспективы дальнейших исследований.** Анализ спектра приборов контроля, предложенных на рынке, показывает, что практически ни один из них не отвечает специфическим требованиям применительно к гражданской авиации. Следовательно, остается актуальной задача разработки датчика обводненности авиационных топлив, который бы отвечал вышеназванным требованиям.

### Литература

1. Василенко В.Т., Сахно Г.И. Обоснование безопасного уровня влагосодержания топлива в полете // Вопросы авиационной химмотологии: Сб. науч. тр.- К: КИИГА, 1983.- С. 17-24.
2. Пискунов В.А., Зрелов В.Н. Испытания топлив для авиационных реактивных двигателей.- М.: Машиностроение, 1974.- 200 с.
3. Соловьев А.Н., Кузнецова Е.Я., Нетреба Ж.Н. Хроматографическое определение содержания растворенной воды в топливах для реактивных двигателей // Аеропорти та їх інфраструктура: Матеріали 5 Міжнар. наук.-тех. конф. "Авіа-2003".- К.: НАУ, 2003.- Т. 4.– С. 41.97–41.100.

*Поступила в редакцию 02.06.03*

**Рецензенты:** д-р техн. наук, проф. О.Г. Кучер, НАУ, г. Киев; канд. техн. наук, доцент А. Никитин, “МИКРОИНТЕР”, г. Киев.