

УДК: 632.654+632.7

Е.Л. Матвеева, О.А. Васильченко, Д.А. Демянко

Национальный авиационный университет, Киев

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОРАЖЕНИЕ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Проведен анализ эксплуатации топливных систем самолетов и наземного оборудования предприятий авиатопливообеспечения. Показано, что наряду с обводнением топлива и загрязнением механическими примесями происходит микробиологическое загрязнение, влияющее не только на качество топлив, но и на эксплуатационную надежность оборудования. Обоснована необходимость разработки отечественной биоцидной присадки, способствующей существенному снижению степени микробиологического поражения авиационных топлив.

**Ключевые слова:** биоцидная присадка, авиационные топливные системы, авиационный биоцид, микробиологические загрязнения.

### Введение

**Актуальность.** Статистические данные свидетельствуют о том, что 30 % всех коррозионных повреждений технологического оборудования вызываются процессами при участии микроорганизмов, которые выделяют при этом продукты метаболизма ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  и др.), способствующие коррозии.

Биологическая коррозия повреждает в первую очередь подземное оборудование, трубопроводы. В отсутствие кислорода создаются благоприятные условия для интенсивного развития анаэробных сульфатредуцирующих бактерий (СРБ). Их жизнедеятельность вызывает аварийные прорывы трубопроводов, коррозию стальных резервуаров хранения нефтепродуктов, повреждение топливных баков самолетов, преждевременную забивку топливных наземных и самолетных фильтров, датчиков индикации количества топлива.

### Изложение основного материала

**Источники загрязнения.** Основными микроорганизмами, вызывающими биоповреждения топлив, являются бактерии родов *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, а также грибы *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* и др. При этом чаще других в нефтепродуктах обнаруживают бактерию *Ps.aerugenosa* и грибы *Cladosporium Resinae* («керосиновый грибок»).

Микробиологические загрязнения *Cladosporium Resinae* состоят из волокон в виде тяжей, которые достигают значительной длины и формируют запутанный слой. Грибы размножаются спорами, которые могут находиться в пассивном состоянии достаточно долго, ожидая благоприятных условий для роста. Поскольку размер спор очень мал (2-3 мкм), а максимально используемая толщина фильтрации топлива на предприятиях авиатопливообеспечения составляет 3-5 мкм, очевидно, что фильтрацией невозможно очистить топливо от

спор. Поэтому топливо часто бывает загрязненным микроскопическими грибами во время транспортировки, хранения, подготовки к выдаче, а также в топливных баках самолета. В связи с этим споры могут оставаться в топливе незамеченными в течение значительного периода времени. Только при возникновении условий, способствующих их развитию, споры прорастают, грибы размножаются, топливо существенно загрязняется.

Необходимыми условиями для развития микроорганизмов являются наличие воды и питательных веществ в топливе. В абсолютно сухом топливе развитие и рост микроорганизмов прекращается. Однако в реальных условиях эксплуатации и хранения топлив трудно и даже невозможно полностью освободиться от влаги, а присутствие в них 0,01—0,02 % воды и даже ее следов достаточно для того, чтобы начался рост микроорганизмов.

Существенными факторами, способствующими активному развитию микроорганизмов, являются рН среды, присутствие ряда элементов (углерода, фосфора, калия, азота, серы, железа), солнечной энергии. Важна температура окружающей среды, так как споры активно размножаются при 25-35 °С, хотя могут расти и при температурах от плюс 5 до 45 °С. Доказано, что споры остаются жизнеспособными в течение нескольких часов при температуре минус 40 °С.

Известно, что биоповреждения топлива связаны с микробиологическим ферментативным окислением углеводов с образованием органических кислот, обладающих поверхностно-активными свойствами, являющихся эмульгаторами топлива. Скорость и глубина микробиологического окисления нефтепродуктов зависят от их углеводородного состава. Углеводороды, имеющие линейное строение молекул, быстрее разрушаются, чем их разветвленные изомеры. Алифатические углеводороды (парафины) чаще менее биостойкие, чем ароматические. Поэтому и топлива, содержа-

щие в основном парафиновые углеводороды, могут разрушаться микроорганизмами быстрее, чем содержащие большее количество ароматических соединений.

**Опыт эксплуатации.** Известно, что коррозия силового набора крыла – это одно из наиболее серьезных последствий микробиологического загрязнения топливных баков. Грибок прикрепляется к горизонтальным поверхностям топливных баков, и, размножаясь, образует переплетенный слой. Это может приводить к образованию очагов с различной аэрацией и химической концентрацией, в которых происходит интенсификация коррозии. Поскольку с ростом грибка продуцируются органиче-

ские кислоты (основную часть которых составляет лимонная кислота), снижается кислотность подтоварной воды (рН 2,5 ÷ 4,5). В результате уменьшается поверхностное натяжение, увеличивается скорость диффузии на поверхности раздела топливо-вода, что облегчает рост грибка.

Переплетенный слой мицелия гриба может перемещаться в объеме в течение заправки самолета, чем вызвать забивку фильтров, датчиков и т.д.

Статистика биологических повреждений материалов показывает, что топливно-смазочные материалы достаточно активно подвергаются воздействию микробиологического фактора (рис. 1).

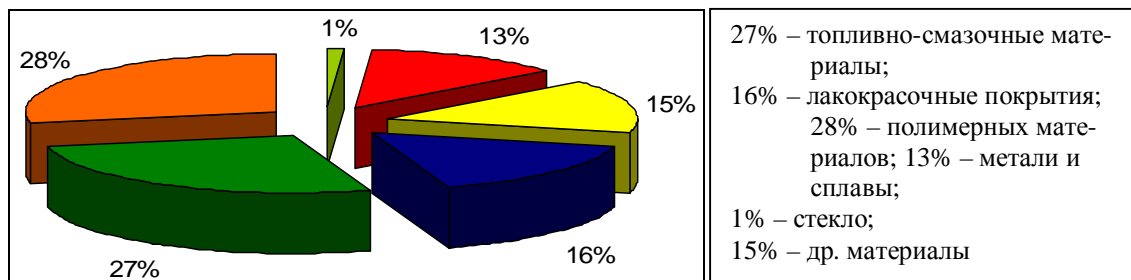


Рис. 1. Статистика биологических поражений материалов

Кроме этого, загрязнение типа *Cladosporium Resinae*, воздействуя на некоторые полиуретаны, может сделать их проницаемыми в течение 4-6 недель, появляется опасность возникновения раковин в металлической подложке и развития межкристаллического расслоения конструкционного металла [1].

Для биоповреждения топлива характерны следующие проявления:

- 1) скопление шлама (воды с различными загрязнениями, включая бактериальную слизь) в донной части топливных баков и резервуаров;
- 2) ухудшение кондиционности топлива, в том числе образование стойких эмульсий типа вода-

масло, повышение кислотности, изменение запаха и цвета топлива, загрязнение взвешенными частицами мицелия и слизи;

3) отложение осадков мицелия и колоний бактерий на внутренних стенках топливных систем (рис. 2), резервуаров, забивание осадками трубопроводов и фильтров (рис. 3);

4) развитие коррозии металлов в донной части, где скапливается водный шлам, в особенности на границе раздела топливо-вода;

5) разрушение или отслоение защитных покрытий под скоплениями колоний микроорганизмов, разрушение метаболитами уплотнений и герметиков (рис. 4).



Рис. 2. Панель топливного бака с микробиологическим загрязнением [1]



Рис. 3. Бактериальное повреждение наземных топливных фильтроматериалов [2]: а, б) – внешний вид повреждений, в – увеличенное изображение участка фильтра (10 мкм)



Рис. 4. Разрушение метаболитами уплотнений и герметиков

**Защита авиационных топлив от биоповреждений.** Мероприятия по предотвращению микробиологического повреждения топлив можно классифицировать на активные и пассивные.

К пассивным относятся ряд эксплуатационных мероприятий на предприятиях авиатопливообеспечения, позволяющих снизить предпосылки к интенсивному развитию микробиологического поражения топлива.

К активным мероприятиям относится добавление к топливу биоцидов – антимикробных присадок.

К группе эксплуатационных защитных мероприятий следует отнести:

- соблюдение условий правильного хранения топлив,
- своевременную их осушку и удаление воды (отстоя) из донной части резервуаров, фильт-

ров, топливных емкостей, самолетных баков;

- предотвращение контакта с водой и атмосферной влагой, то есть уменьшение контакта с воздухом, особенно влажным,
- своевременное проведение зачинок технологического оборудования хранения топлив;
- фильтрацию.

Хорошие результаты по очистке и обеззараживанию топлива дает применение фильтров с толщиной очистки 1 – 2 мкм, хотя их использование в нагнетательных технологических участках трубопроводов достаточно проблематично ввиду значительной стоимости.

Химические методы защиты (активные защитные мероприятия) не должны влиять на энергетические показатели топлив. Поэтому некоторые биоциды, применяемые, например, для защиты от биоповреждений полимерных и других ма-

териалов, оказываются непригодными для защиты топлив.

Среди многочисленных испытанных соединений в качестве биоцидов лучшим комплексом свойств обладает антимицробная присадка, содержащая монометилловый эфир этиленгликоля с добавкой этиленгликоля. Эта присадка ранее была принята для использования в топливах, в качестве противообледенительной прошла широкие эксплуатационные испытания и, как было установлено позднее, обладает хорошими бактерицидными свойствами в концентрации 0,1%. Другой антимицробной присадкой является диметилалкилбензиламмоний хлорид (алкил С17-20). Она относится к классу четвертичных аммониевых соединений, обладает поверхностно-активными свойствами, может применяться для обеззараживания топливных систем и хранилищ после слива топлива.

Наиболее распространенной в мире авиационной биоцидной присадкой служит BioborJF. Она является микробиоцидом и предназначена для уничтожения грибков, водорослей и других микроорганизмов, которые повреждают топливные системы. Первоначально разработанная в США в 1963 году, BioborJF производится сегодня Hammonds Industries, Inc в Хьюстоне, штат Техас[3].

Активные ингредиенты BioborJF: 2,2'-oxybis(4,4 6-trimethyl-1,3,2-dioxaborinane) and 2,2'-(methyltrime-thylenedioxy) bis-(4-methyl 1-1,3,2-dioxabo-rinane). BioborJF разработана прежде всего для реактивного и дизельного топлива, но может быть использована в любом углеводородном топливе.

Требуемая концентрация BioborJF в топливе составляет 270 частей на миллион для достижения эффекта стерилизации, затем концентрацию рекомендуется снизить до 135 частей на миллион для профилактики повторного заражения.

Введение присадки в топливо осуществляется посредством счетчика-дозатора, в его отсутствие допускается перемешивание вручную. Возможна добавка присадки в момент заправки самолета непосредственно в баки-кессоны небольшой емкости. Время добавки должно совпадать с заполнением бака на 1/2 для обеспечения равномерного ее размешивания.

Широкому использованию такой присадки в нашей стране препятствуют два аспекта.

Первый – добавка биоцида BioborJF непосредственно в топливо при заправке воздушного судна не регламентирована отечественными нормативными и руководящими документами [4], хотя можно было бы предположить ее использование при промывке топливных баков во время

выполнения регламентных работ или резервуаров хранения топлива в качестве стерилизационного материала.

Второй аспект – высокая стоимость BioborJF.

Для биоцидной обработки топлива используется также присадка Kathon ® FP 1,5 [5], которая получила многочисленные одобрения от ведущих производителей авиационных двигателей и планеров и рекомендуется ИАТА для использования в топливных системах самолета в соответствии с MIL-S-53021.

В отличие от BioborJF она подается через штатные дозирующие устройства, непосредственно в топливный бак ее подача не допускается; загрязнения уничтожаются быстро и эффективно, время действия составляет от 12 до 24 часов.

Отмечается также экономическая эффективность Kathon ® FP 1,5 для стерилизации топлива: расход присадки из расчета 1 галлон на 10 000 галлонов топлива.

**Методы выявления микробиологического загрязнения топлив.** В качестве основной меры предосторожности для всех самолетных топливных баков применяется регулярный слив отстоя. При подозрении на наличие биозагрязнения контрольного образца (мутность образца, изменение цвета, наличие запаха сероводорода, присутствие слизи) его следует протестировать.

В отрасли существуют запатентованные методики определения подобных загрязнений с использованием наборов MicrobMonitor 2, Hum Bug Detector, Bug Alert, Bug Check, электронного измерителя HMB IV.

Так, например, при использовании MicrobMonitor 2 результаты тестирования доступны через три дня и не требуют дальнейшей расшифровки [6].

Практика эксплуатации показывает, что в местах, где риск заражения топлив наиболее высок, периодичность проверки на наличие микробиологического заражения должна быть не реже одного раза в месяц.

## Выводы

Анализ эксплуатации топливных систем самолетов и наземного оборудования предприятий авиатопливообеспечения показал, что наряду с обводнением топлива и загрязнением механическими примесями имеет место микробиологическое загрязнение, влияющее не только на качество топлив, но и на эксплуатационную надежность оборудования.

Существующая в отрасли международная практика биоцидного подавления микроорганизмов в авиационных топливах достаточно эффективна, но не применяется в странах СНГ в связи

с высокой стоимостью реагентов и отсутствием рекомендаций по их применению в нормативной базе.

Научно-практический интерес представляет разработка отечественной биоцидной присадки, способствующей существенному снижению степени микробиологического поражения авиационных топлив.

### Список литературы

1. Bowden, Denis. *Attack of the fungi //Flight Safety Australia. (September-October 2005). – Pp. 50-51.*
2. Сайт «Новости авиации» [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.faudi-aviation.com>.
3. Сайт [hammondscos.com](http://www.hammondscos.com) [Электрон. ресурс]. –

Режим доступа : <http://www.hammondscos.com>.

4. Інструкція з забезпечення заправки повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в підприємствах цивільного авіаційного транспорту України. – К.: Державіаслужба, 2006. – 115 с.

5. Сайт [fqsinc.com](http://www.fqsinc.com) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fqsinc.com>.

6. Сайт [microbmonitor.com](http://www.microbmonitor.com) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.microbmonitor.com>.

Поступила в редколлегию 2.06.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Национальный авиационный университет, Киев.

### МІКРОБІОЛОГІЧНЕ УРАЖЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ

О.Л. Матвеева, О.А. Васильченко, Д.О. Демянко

Проведено аналіз експлуатації авіаційних паливних систем та наземного обладнання підприємств авіапаливозабезпечення. Обґрунтована необхідність розробки вітчизняної біоцидної присадки, що сприятиме зниженню ступеню микробиологічного ураження авіаційних палив.

**Ключові слова:** біоцидна присадка, авіаційні паливні системи, авіаційний біоцид, микробиологічні забруднення.

### MICROBIOLOGICAL DAMAGE OF AVIATION FUELS

O.L. Matveyeva, O.A. Vasylychenko, D.O. Demyanko

Analysis of aircraft fuel systems and ground equipment fuel operation was carried out. The necessity of national biocide additive developing that promotes substantially reducing the degree of aviation fuels microbial destruction has been grounded.

**Keywords:** biocide additive, aircraft fuel systems, aviation biocide, microbial pollution.