

УДК 621.89+665.6
DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-6-54-62

УСТРОЙСТВО НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЧИСТОТЫ АВИАТОПЛИВА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.А. БРАЙЛКО¹, Н.А. ДРУЖИНИН², В.М. САМОЙЛЕНКО¹

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия,

²ЗАО «Топливо-заправочный сервис» Внуково, г. Москва, Россия

В настоящее время особое внимание уделяется качеству заправляемого в воздушные суда топлива как одной из составляющих безопасности полетов для обеспечения безотказной работы топливной системы. Существующая система контроля качества включает периодический отбор проб авиатоплива в тару с последующим их контролем по нормируемым показателям качества, которые не выявляют возможных причин ухудшения этих показателей для их устранения в последующей эксплуатации и не выявляют факторы возникновения источников загрязнения авиатоплива. Система контроля в основном обеспечивает проведение мероприятий по сохранению качества авиатоплива и безопасность полетов обслуживаемых авиакомпаний гражданской авиации на современном уровне в соответствии с нормативными требованиями. В статье на основании теоретических исследований каскадной фильтрации механических примесей разработана математическая модель расчета параметров индикаторных фильтрующих перегородок. Рассчитанные с помощью математической модели поры индикаторных фильтрующих перегородок были экспериментально проверены на прокачном стенде и показали хорошую сходимость расчетных и экспериментальных результатов. Применение каскадной фильтрации топлива с различными параметрами индикаторных перегородок позволило разработать устройство мониторинга чистоты топлива, позволяющее осуществлять непрерывный (встроенный) контроль уровня загрязнения потока рабочей жидкости в различных точках технологического оборудования (например, после насоса, на входе и выходе резервуаров и агрегатов, на выходе фильтра и т. д.) и осуществлять функциональную диагностику состояния агрегатов технологического оборудования путем контроля изменения параметров частиц и мест возникновения износа.

Ключевые слова: индикаторная перегородка, каскадная фильтрация, непрерывный мониторинг чистоты топлива, устройство непрерывного мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасности полетов остается и в настоящее время одной из важнейших проблем. С целью оценки влияния на безопасность полетов качества очистки авиатоплива авторами работы выполнен анализ статистических данных об инцидентах, авариях и катастрофах с ВС коммерческой ГА РФ в период с 1990 по 2016 год, учтенных в базе данных Автоматизированной системы обеспечения «Безопасность полетов» (АСО БП) по коду «028 топливная система» [1].

Проведенный анализ показал, что причиной отказов авиадвигателей (20,5 %) является загрязнение авиатоплива механическими примесями (рис. 1).

Наличие в авиатопливе механических примесей (26 событий) и воды (29 событий) может быть подтверждением недостатков методов обеспечения качества очистки авиатоплива. События, отнесенные к действию факторов, обозначенных такими неопределенными терминами, как «некондиционность авиатоплива» (34 события) и «несоответствие авиатоплива ТУ» (3 события), не могут не включать в себя события, обусловленные наличием механических примесей и воды. Таким образом, далее анализировались события, вызванные воздействием механических примесей, воды, «некондиционного авиатоплива», «авиатоплива, не соответствующего ТУ» (всего 92 события).

При расследовании причин этих 92-х событий было установлено, что 78 из них вызваны заправленным перед рейсом авиатопливом. Исходя из проделанного анализа, можно заключить, что максимально возможное число событий, обусловленных недостатками методов обеспече-

ния качества очистки авиатоплива от механических примесей и воды, составляет 78 (36,6 % всех событий).

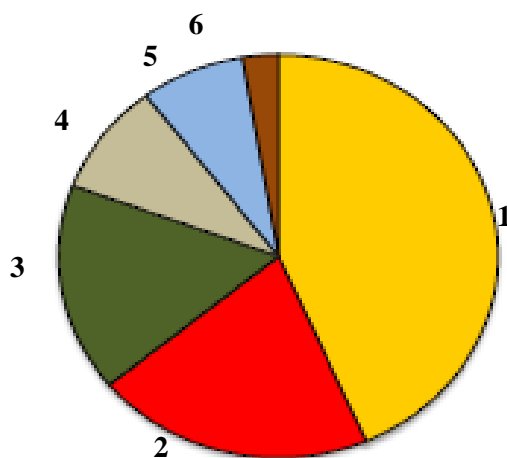


Рис. 1. Диаграмма видов некондиционности авиатоплива, послуживших причинами инцидентов и авиационных происшествий из-за отказов авиадвигателей:

- 1 – некондиционное авиатопливо (без указания причины некондиционности) 43,5 %;
- 2 – загрязнение авиатоплива механическими примесями 20,5 %;
- 3 – ненормативная концентрация ПВКЖ в авиатопливе 16,7 %;
- 4 – загрязнение авиатоплива водой 9,0 %;
- 5 – химические загрязнения в авиатопливе 7,7 %;
- 6 – несоответствие авиатоплива ТУ 2,6 %

Fig. 1. Diagram of off-grade aviation fuel that caused aviation incidents and accidents due to engine malfunctions:

- 1 – off-grade aviation fuel (without specifying off-grade causes) 43,5 %;
- 2 – contamination of aviation fuel with mechanical impurities 20,5 %;
- 3 – out-of-spec concentration of anti-icing additives in aviation fuel 16,7 %;
- 4 – contamination of aviation fuel with water 9,0 %;
- 5 – chemical contamination in aviation fuel 7,7 %;
- 6 – product nonconformity 2,6 %

Таким образом, статистические данные подтверждают наличие проблемы контроля чистоты авиатоплива и его влияния на безопасность полетов, а следовательно, необходима разработка устройства для непрерывного мониторинга чистоты топлива.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ИНДИКАТОРНЫХ ПЕРЕГОРОДОК И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Вопрос поддержания чистоты авиатоплива на предприятиях топливообеспечения является основным и самым сложным. Мониторинг качества авиатоплива проводится на всех этапах технологической системы от приема до выдачи на заправку в ВС. В процессе мониторинга устанавливается тенденция изменения уровня чистоты авиакеросина, оценивается соблюдение действующих нормативов по уровню чистоты авиакеросина и эффективность работы используемых средств его очистки. Известно [2–4], что механические примеси неравномерно распределены по объему и взятый анализ пробы топлива является не вполне объективным показателем чистоты авиакеросина. В связи с этим требуется применение устройств, позволяющих осуществлять постоянный контроль топлива.

Такое устройство может быть реализовано на известных технологиях каскадной фильтрации частиц разного размера через несколько установленных последовательно пористых перегородок с уменьшающимися размерами пор [5]. Для разработки модели расчета индикаторных перегородок фильтрации в работе применены статистические методы, основанные на работах отечественных основоположников гидравлики Н.Е. Жуковского, Н.Н. Павловского и других, с использованием основных законов теории гидравлики и характера движения жидко-

сти в поровых каналах фильтрующих перегородок, по аналогии движения жидкости в трубах с учетом числа Рейнольдса [6–8].

При протекании загрязненного топлива через индикаторные фильтрующие перегородки часть поровых каналов закупоривается частицами механических примесей, размер которых не позволяет им пройти через отверстие сетки. Соответственно происходит изменение показателя перепада давления ΔP . Следовательно, при разработке новой системы мониторинга чистоты топлива с применением каскадной фильтрации необходимо рассчитать гидравлическое сопротивление фильтрующих перегородок.

При ламинарном течении топлива через перегородку зависимость гидравлического сопротивления от показателей структуры и динамики закупорки части пор описывается уравнением Дарси

$$\frac{Q}{F} = V = k \frac{\Delta P}{\mu l} \text{ или } Q = k \frac{\Delta P F}{\mu l}, \quad (1)$$

где Q – суммарный расход топлива, $\text{см}^3/\text{с}$;
 F – площадь пористой перегородки, см^2 ;
 V – средняя скорость течения топлива, $\text{см}/\text{с}$;
 k – коэффициент проницаемости, см^2 ;
 ΔP – разность давления до и после фильтрующей перегородки, Па;
 μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с;
 l – толщина фильтрующей перегородки, см.

Уравнение (1) подтверждено большим фактическим материалом и называется законом Дарси, хотя является эмпирическим, поскольку коэффициент проницаемости k определяется опытным путем.

Из уравнения Дарси выведем формулу удельной пропускной способности перегородки – q [9, 10]:

$$Q = \frac{Q}{F} = V = k \frac{\Delta P}{\mu l} \text{ или } Q = k \frac{\Delta P F}{\mu l}, \quad (2)$$
$$q = \frac{k}{l}; \text{ отсюда } q = \frac{\mu Q}{\Delta P F}, [\text{см}].$$

Для дальнейших оценок гидравлических характеристик пористых индикаторных перегородок удобно использовать коэффициент удельного гидравлического сопротивления R , учитывающий как свойства пористой структуры, так и толщину материала, который может быть вычислен по формуле

$$R = \frac{1}{k} = \frac{\Delta P F}{\mu Q} [\text{см}^{-1}] \quad (3)$$

или

$$R = \frac{\Delta P}{V}, \quad (4)$$

где V – средняя скорость жидкости, $\text{см}/\text{с}$.

То есть задача расчета гидравлического сопротивления перегородок сводится к определению функциональной зависимости коэффициента R от параметров фильтрующих перегородок.

В силу вышеизложенного расходы жидкости через условные поры распределены по логарифмически нормальному закону и поэтому выражаются следующим уравнением:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (5)$$

где z – нормально распределенная величина, равная

$$z = \frac{\ln \delta - \ln \delta_0}{\ln v}, \quad (6)$$

где $\ln \delta_0$, $\ln v$ – параметры нормального распределения логарифма диаметра условных пор.
Элементарный расход топлива через поры, имеющие размер от δ до $(\delta + \Delta\delta)$, равен

$$\Delta Q = \frac{Q_0}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (7)$$

С другой стороны, элементарный расход можно выразить через истинную скорость жидкости в поре, которая по закону Пуазейля [11] равна

$$U = \frac{\delta^2}{32\mu l} \cdot \Delta P \quad \text{и} \quad \Delta Q = \Delta U \cdot \Delta F_p = \Delta Q = \Delta U \cdot \Delta F_p \frac{\delta^2 \Delta P}{32\mu l} \cdot \Delta F_p, \quad (8)$$

где ΔF_p – элементарная расчетная суммарная площадь всех пор диаметром δ .

Следует учесть, что длина условных пор вследствие их извилистости всегда больше толщины пористой перегородки. Для учета этого в уравнение вводится коэффициент m , учитывающий извилистость и пористость материала, коэффициент m уточняется по экспериментальным данным. Тогда

$$\Delta Q = \frac{m \delta^2 \Delta P}{32\mu l} \cdot \Delta F_p. \quad (9)$$

Для каскадного расположения четырех последовательно установленных индикаторных сеток формула будет иметь вид

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \text{ [см}^{-1}\text{]}. \quad (10)$$

Таким образом, для разработки устройства мониторинга постоянного контроля топлива может быть проведен теоретический расчет гидравлического сопротивления его каскадной фильтрации по экспериментальным исследованиям макета каждой перегородки.

Подбор и расчет оптимальных значений гидравлического сопротивления перегородок монитора позволяет определить рациональное соотношение между площадями фильтрующих поверхностей и геометрическими размерами каждого индикаторного элемента в конструкции монитора.

Для определения количественной оценки коэффициента удельного гидравлического сопротивления в работе были проведены стендовые испытания перегородок. При стендовых испытаниях каждой индикаторной перегородки на чистом топливе определяем показатель коэффициента удельного гидравлического сопротивления R .

Испытания первой перегородки (металлической сетки) проводились на образце площадью $F = 28,26 \text{ [см}^2\text{]}$, $\Delta P = 0,3 \text{ [кг/см}^2\text{]}$, $Q = 383,3 \text{ [см}^3\text{/с]}$, μ – динамическая вязкость дизельного топлива, $\mu = 4,34 \text{ [МПа}\cdot\text{с]} = 434 \text{ [Па}\cdot\text{с]}$.

$$R = (\Delta P F) / (\mu Q) \frac{\Delta P \cdot F}{\mu \cdot Q}, \quad (11)$$

$$R_1^0 = \frac{\Delta P_1 \cdot F}{\mu \cdot Q_1} = \frac{0,11 \cdot 28,26}{434 \cdot 383} = 0,000019 \text{ [см}^{-1}\text{]}.$$

Вторая индикаторная перегородка из полимерной сетки квадратного плетения испытывалась в аналогичных условиях той же площади образца, но перепад давления составил $\Delta P = 0,16$ [кг/см²]:

$$R_2^0 = \frac{\Delta P_2 \cdot F}{\mu \cdot Q_2} = \frac{0,16 \cdot 28,26}{434 \cdot 325} = 0,000032 \text{ [см}^{-1}\text{]}.$$

Третья индикаторная перегородка состоит из двух слоев полимерной сетки квадратного плетения, смещенных относительно направления нитей на 45⁰, что обеспечивает более равномерную поровую структуру и лучшие фильтрующие свойства. Перепад давления составил $\Delta P = 0,24$ [кг/см²]:

$$R_3^0 = \frac{\Delta P_3 \cdot F}{\mu \cdot Q_3} = \frac{0,24 \cdot 28,26}{434 \cdot 288} = 0,000054 \text{ [см}^{-1}\text{]}.$$

Четвертая индикаторная перегородка состоит из фильтрующей бумаги 5 мкм производства Холин Ворс и имеет значительно большее гидравлическое сопротивление. Перепад давления составил $\Delta P = 0,55$ [кг/см²]:

$$R_4^0 = \frac{\Delta P_4 \cdot F}{\mu \cdot Q_4} = \frac{0,55 \cdot 28,26}{434 \cdot 102} = 0,00035 \text{ [см}^{-1}\text{]}.$$

Таким образом, Σ коэффициентов удельного гидравлического сопротивления всех четырех индикаторных перегородок будет равна

$$R_{\Sigma}^0 = R_1^0 + R_2^0 + R_3^0 + R_4^0 = 0,000019 + 0,000032 + 0,000054 + 0,00035 = 0,00455 \text{ [см}^{-1}\text{]}.$$

Из экспериментальных данных видно, что наибольшее гидравлическое сопротивление получаем от четвертой перегородки (фильтрующая бумага 5 мкм), коэффициент удельного гидравлического сопротивления $R = 0,00035$ [см⁻¹].

Для проверки погрешности измерения показателей проводим прокачку пакета сразу трех перегородок, расположенных последовательно, и трех перегородок, рассчитанных теоретически ($R_T = 0,00031$).

При испытаниях пакета трех последовательно расположенных перегородок получаем $\Delta P_5 = 0,3$ кг/см², с расходом топлива $Q = 0,62$ л/с.

Коэффициент удельного гидравлического сопротивления R_5^0 равен $0,00332$ см⁻¹.

$$R_5^0 = \frac{\Delta P_5 \cdot F}{\mu \cdot Q_5} = \frac{0,30 \cdot 28,26}{434 \cdot 61,7} = 0,000317 \text{ [см}^{-1}\text{]}.$$

В сравнении значения первых трех опытов $R_5^0 = 0,000317$ и $R_T = 0,00031$ получаем разницу в показателях равную 2,2 %. Следовательно, сходимость результатов экспериментальных и теоретических исследований достаточно высокая – 97,8 %.

Таким образом, разработанная математическая модель проверена экспериментально и показала высокую сходимость.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПОТОКЕ АВИАТОПЛИВА

На основании вышеизложенного и проведенных в работе исследований предложено устройство непрерывного контроля качества топлива, реализованное по «частичнопоточной»

схеме. В монитор при такой схеме для проведения контроля отбирают заданную часть потока (1–5 %) контролируемого углеводородного топлива, пропускают эту часть потока через устройство, состоящее из системы фильтрующих перегородок (мембран), и по полученным данным судят о наличии механических примесей определенного размера во всем объеме топлива в заданный отрезок времени.

Устройство контроля количественного содержания механических примесей в жидком углеводородном топливе (рис. 2) содержит систему фильтрующих перегородок с последовательно уменьшающимися размерами пор, датчики давления, установленные перед каждой фильтрующей перегородкой и за ней, а также аналитический блок-регистратор, связанный с датчиками давления, отличающийся тем, что аналитический блок-регистратор содержит блок памяти и микропроцессор, включающий компараторы. Входы микропроцессора соединены с выходами интеллектуальных датчиков давления и выходом блока памяти, а выход микропроцессора с входом блока памяти. Блок индикации содержит цифровой дисплей, имеющий возможность отображения на экране данных о весовом количестве механических примесей на каждой фильтрующей перегородке.

Первая фильтрующая перегородка 3 с самыми крупными порами (ячейками) задерживает самые крупные частицы, следующая фильтрующая перегородка имеет более мелкие поры (ячейки) и так далее. На каждой фильтрующей перегородке 3, 4, 5 и 6 формируется осадок, поры (ячейки) каждой перегородки закупориваются частицами в разных размерных диапазонах.

Каждая фильтрующая перегородка (поз. 3–6) имеет размер пор (ячеек) в заданном диапазоне и, соответственно, будет пропускать основную массу частиц меньшего размера беспрепятственно.

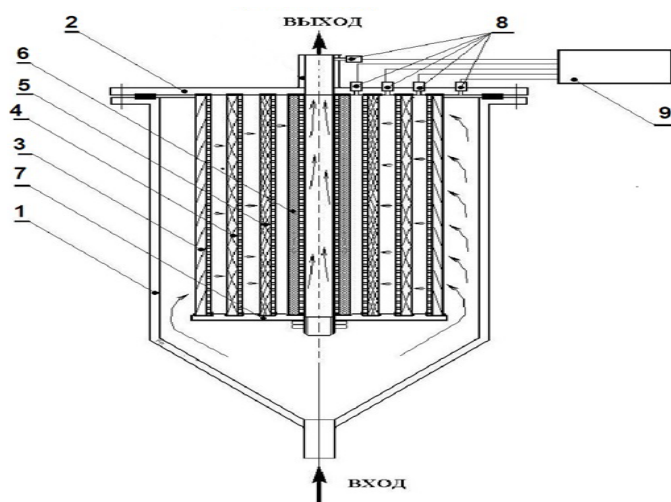


Рис. 2. Схема устройства контроля количественного содержания механических примесей в потоке авиатоплива:

- 1 – корпус монитора; 2 – крышка монитора; 3 – первая индикаторная фильтрующая перегородка;
- 4 – вторая индикаторная фильтрующая перегородка; 5 – третья индикаторная фильтрующая перегородка;
- 6 – четвертая индикаторная фильтрующая перегородка; 7 – опорная плита; 8 – датчики давления;
- 9 – контролер обработки данных

Fig. 2. Diagram of the control device of the quantitative content of mechanical impurities in aviation fuel flow;
1 – the display casing; 2 – monitor cover; 3 – the first indication filter wall; 4 – the second indication filter wall;
5 – the third indication filter wall; 6 – the fourth indication filter wall; 7 – support plate; 8 – pressure sensors;
9 – the controller of data processing

Таким образом, все частицы загрязнений разделятся по фракциям, например, первая перегородка 3 – в диапазоне более 20 мкм, вторая перегородка 4 – в диапазоне до 10 мкм, третья перегородка 5 – в диапазоне от 10 мкм до 5 мкм, четвертая перегородка 6 – частицы размером 5 мкм и менее.

На рис. 3 представлена зависимость роста перепада давления от суммарного веса задержанных частиц в четырех фракционных диапазонах. Рост перепада давления на каждой из фильтрующих перегородок 3, 4, 5, 6 (рис. 3) зависит от суммарного количества частиц ее закупоривающих, в определенном фракционном диапазоне размеров. Представленные данные роста перепада давления на индикаторных перегородках получены при экспериментальных исследованиях макетного образца монитора.

Для построения тарифовочных математических зависимостей в период настройки устройства производился сбор и обработка статистической информации. При увеличении гидравлического сопротивления на каждые $0,1 \text{ кг/см}^2$ всего устройства перегородки снимают, каждую высушивают под вакуумом и взвешивают для определения массы задержанных частиц. Измерения проводят до достижения предельно допустимого перепада давления $1,5 \text{ кг/см}^2$ всего устройства, после чего по семи значениям строят тарифовочные кривые для каждой (например, из 4-х) из последовательно установленных фильтрующих перегородок разной номинальной тонкости фильтрации.

Полученные математические зависимости по изменению перепада давления регистрируются интеллектуальным датчиком давления на каждой фильтрующей перегородке, и значения текущей производительности потока топлива в режиме реального времени заносятся в аналитический блок-регистратор.

В результате применения такой системы автоматизированного непрерывного мониторинга, с учетом общего расхода топлива, можно получать объективные данные о загрязнении авиационного топлива, а также об изменении этого загрязнения в течение времени прокачки и данные о размерных группах загрязняющих частиц.

Таким образом, предложено устройство, позволяющее определять наличие механических примесей в потоке топлива, на которое получен патент № 141654 РФ [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проанализирована возможность создания устройства для непрерывного мониторинга контроля чистоты топлива на основе каскадной фильтрации. Разработано устройство, позволяющее осуществлять непрерывный мониторинг чистоты авиатоплива. Применение данного устройства позволяет в режиме текущего времени принимать решение о кондиционности авиатоплива. Установлена зависимость роста перепада давления от веса задержанных частиц. На основе закона Дарси разработана математическая модель, учитывающая ламинарное и турбулентное течение потока авиатоплива и позволяющая производить расчет параметров индикаторных фильтрующих перегородок. Предложенная модель проверена экспериментально. Результаты теоретических расчетов и экспериментальной оценки показали высокую сходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 18675-2012. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия на нее. М.: Стандартинформ, 2009. 92 с.

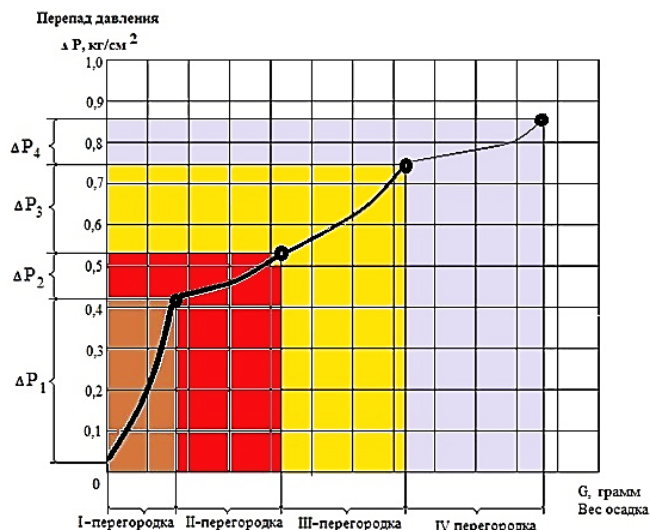


Рис. 3. Зависимость роста перепада давления от веса задержанных частиц

Fig. 3. The dependence of differential pressure growth on trapped particles weight

2. Тимошенко А.Н. Разработка метода экспериментального определения скорости седиментации механических примесей в авиатопливе и исследование формы частиц наиболее критичного загрязнителя / А.Н. Тимошенко, С.П. Урявин, А.Н. Козлов, И.С. Мельникова // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2013. № 3. С. 54–61.

3. Рыбаков К.В. Фильтрация авиационных топлив. М.: Транспорт, 1973. 164 с.

4. Сыроедов Н.Е. Мониторинг чистоты топлив в системе топливообеспечения ЗАО «ТОПЛИВОЗАПРАВОЧНЫЙ СЕРВИС» а\п Внуково / Н.Е. Сыроедов, А.А. Браилко, Н.А. Дружинин // Научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества»: тезисы докладов. М.: МГТУ ГА, 2013. С. 54.

5. Удлер Э.И. Метод оценки эффективности пористых фильтров по их проницаемости // Двигателестроение. 1985. № 7. С. 38–41.

6. Кириш А.А. Фильтрация аэрозолей волокнистыми материалами ФП / А.А. Кириш, А.К. Будыка, В.А. Кириш // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. 2008. Т. LII, № 5. С. 97–102.

7. Басманов П.И. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова / П.И. Басманов, В.Н. Кириченко, Ю.Н. Филатов, Ю.Л. Юров. М.: Наука, 2003. 271 с.

8. Swanson C.J., Julian B., Ihas G.G., Donnelly R.J. Pipe flow measurement over a wide range of Reynolds numbers using liquid helium and various gases. *J. Fluid Mech*, 2002, vol. 461, pp. 51–60.

9. Отчет «Разработка экспресс-метода определения показателей эффективности работы пористых фильтрующих материалов». М.: НПО НАТИ, 1985. 132 с.

10. Бушланов В.П. Теория фильтра Дарси / В.П. Бушланов, И.В. Бушланов, Е.Н. Сентякова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2012. № 11 (130). Вып. 27. С. 103.

11. Rundora L. Laminar flow in a channel filled with saturated porous media, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Cape Peninsula University of Technology, (2013).

12. Патент ПМ 141654, РФ, МПК G01N 33/22, B01D 25/00. «Устройство контроля содержания механических примесей в жидкости и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости» / Браилко А.А. и др. (5 соавторов). Опубликовано от 26.08.2015 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Браилко Анатолий Анатольевич, соискатель кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, brailko@tzsvko.aero.

Дружинин Никита Александрович, Главный инженер ЗАО «Топливо-заправочный сервис» Внуково, druzhinin@tzsvko.aero.

Самойленко Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, v.samoilenko@mstuca.aero.

DEVICE FOR CONTINUOUS MONITORING OF AVIATION FUEL PURITY IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF AIRCRAFT FUEL SUPPLY

Anatoly A. Brailko¹, Nikita A. Druzhinin², Vasily M. Samoilenko¹
¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia
²JSC "Fuel filling service" Vnukovo Moscow, Russia

ABSTRACT

Currently, special attention is paid to the aircraft fuel quality as a component of safety to ensure trouble-free operation of the fuel system. The existing system of quality control involves periodic sampling of the fuel in the container and

their subsequent control by the normalized quality indicators that do not identify possible reasons for the deterioration of these indicators to remove them for trouble-free operation and do not identify the factors of pollution sources. The monitoring system generally ensures the implementation of measures to preserve the quality of aviation fuel and flight safety of serviced civil aviation airlines at current level according to regulatory requirements. The article describes the mathematical model for calculation parameters of indicator filtering partitions based on cascade filtration theoretical studies of mechanical impurities. Pores of indicator filtering partitions calculated by means of mathematical model have been experimentally tested on simulator stand and showed a good convergence of calculated and experimental results. The use of cascade filtration of fuel with different indicator partitions parameters made it possible to develop a device for fuel purity monitoring, allowing continuous (inline) monitoring the level of liquid flow contamination at various points of technological equipment (for example, after the pump, at the inlet and outlet of tanks and units, the output of the filter, etc.) and to carry out functional diagnostics of units condition process equipment by monitoring changes of particle parameters and the wear occurrence.

Key words: indicator partitions, cascade filtration, continuous fuel purity monitoring, device for continuous monitoring.

REFERENCES

1. GOST 18675-2012. *Dokumentatsiya ekspluatatsionnaya i remonnaya na aviatsionnyuyu tekhniku i pokupnye izdeliya na nee* [Maintenance and repair documentation for aviation equipment and articles to be procured]. M., STANDARTINFORM, 2009, 92 p.
2. **Timoshenko A.N.** *Razrabotka metoda eksperimentalnogo opredelenia skorosti sedimentatsii mehanicheskikh primesey v aviotoplive i isledovanie formy chastits naibolee kritichnogo zagreznitelya* [Development of method of experimental determination sedimentation speed of solid contamination in the jet fuel and the results of studies of particle shape of the most dangerous pollution]. A.N. Timoshenko, S.P. Aravin, A.N. Kozlov, I.S. Melnikov. *Nauchniy vestnik GosNII GA* [Scientific Bulletin of GosNII GA], 2013, № 3, pp. 54–61. (in Russian)
3. **Rybakov K.V.** *Filtration of aviation fuel*. M., Transport, 1973, 164 p.
4. **Siroedov N.E.** *Monitoring the fuel purity in the fuel supply system of the JSC "Fuel – Supply Service", Vnukovo airport*. N.E. Siroedov, A.A. Braylko, N.A. Druzhinin. *Tezisy dokladov naucno-technicheskoy konferentsii "Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tehniki i obschestva"* [Scientific and technical conference "Civil aviation at the present stage of science, technology and society development"]. M., MGTU GA, 2013, 54 p.
5. **Udler E.I.** *Metod otsenki effektivnosti poristyh filtrov po ih pronitsaemosti* [Method of efficiency estimation of porous filters according to their permeability]. *Dvigatelistroenie* [Engine construction], 1985, no. 7, pp. 38–41. (in Russian)
6. **Kirsch A.A.** *Filtratsiya aerorozley voloknistymi materialami FP* [Filtration of aerosols with FP fiber materials]. A.A. Kirsch, A.K. Budyka, A.A. Kirsch. *Zhurnal Rossiyskogo Himicheskogo Obshestva* [The Journal of the Russian Chemical Society], 2008, Vol. LII, no. 5, pp. 97–102. (in Russian)
7. **Basmanov P.I.** *High-performance gas purification from aerosols with Petryanov's filters*. P.I. Basmanov, V.N. Kirichenko, Yu.N. Filatov, Yu.L. Yurov. M., Science, 2003, 271 p. (in Russian)
8. *Pipe flow measurement over a wide range of Reynolds numbers using liquid helium and various gases*. C.J. Swanson, B. Julian, G.G. Ihas, and R.J. Donnelly. *J. Fluid Mech*, 2002, vol. 461, pp. 51–60.
9. *The report "Development of an express method for definition of indicators of porous filter material operation efficiency"*. M., Scientific Manufacture Association, Scientific and technical centre of domestic tractor manufacture, 1985, 132 p.
10. **Bushlanov V.P.** *Teoria filtra Darsi* [The Theory of Darcy's filter]. V.P. Bushlanov, I.V. Bushlanov, E.N. Sencakova. *Nauchniye vedomosti Seriya: Matematika. Fizika* [Admiral Ushakov Maritime State University, Scientific Bulletin Series: Mathematics. Physics], 2012, № 11 (130), vol. 27, p. 103. (in Russian)
11. **Rundora L.** *Laminar flow in a channel filled with saturated porous media*, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Cape Peninsula University of Technology, 2013.

12. Patent PM 141654, the Russian Federation, IPC G01N 33/22, B01D 25/00. "A device to control the content of mechanical impurities in liquids and a monitoring system of the mechanical impurities content in the fluid stream". Braylko A.A. and others (5 co-authors). Published on 26.08.2015.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatoly A. Brailko, Postgraduate of the Chair of Aircraft Fuel Supply and Repair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, brailko@tzsvko.aero.

Nikita A. Druzhinin, Chief Engineer of JSC "Fuel Filling Service", Vnukovo, druzhinin@tzsvko.aero.

Vasily M. Samoilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Aircraft Fuel Supply and Repair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, v.samoilenko@mstuca.aero.

Поступила в редакцию 23.08.2017
Принята в печать 23.11.2017

Received 23.08.2017
Accepted for publication 23.11.2017