

УДК 621.89+665.6
DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-6-73-80

КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АВИАТОПЛИВЕ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЕГО ПОДГОТОВКИ ДЛЯ ЗАПРАВКИ В ВОЗДУШНЫЕ СУДА

А.А. БРАЙЛКО¹

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

Задачам по обеспечению безопасности и регулярности полетов современного отечественного и импортного парка авиационной техники, носящим многогранный и комплексный характер, уделяется большое внимание. Одной из этих задач является функционирование системы обеспечения качества авиатоплива для заправки воздушных судов. В процессе отработки и накопления опыта эксплуатации авиатехники, процессов производства авиационных топлив, а также в процессе хранения, контроля качества, транспортирования, подготовки к заправке и заправки ВС было изучено и установлено существенное влияние качества, химического состава и ассортимента топлива на надежность и ресурс агрегатов и деталей топливной системы воздушного судна. В настоящее время работа ведется по исследованию влияния качества топлива на агрегаты технологической схемы топливо-заправочных комплексов, которые обеспечивают требуемую чистоту топлива согласно нормативных документов. В статье приведена тенденция изменения уровня чистоты авиакеросина на этапах от приема до выдачи на заправку. Проведена оценка соблюдения действующих нормативов по уровню чистоты авиатоплива и эффективности работы используемых средств очистки авиатоплива. На основании исследования установлено, что одной из проблем недостаточного уровня качества очистки авиатоплива является нарушение условий допустимого уровня загрязненности топлива перед фильтром. Было установлено, что недостатком применяемых фильтровальных бумаг является процесс вымываемости волокон. На основании исследования установлено, что при очистке топлив от механических примесей необходимо учитывать техническое состояние фильтроэлемента, также выработаны предложения для топливо-заправочных комплексов с целью обеспечения чистоты авиатоплива согласно нормативным требованиям.

Ключевые слова: фильтроэлемент, баланс загрязнений топлива, обводненность топлива, вымываемость волокон.

ВВЕДЕНИЕ

Качество авиатоплива оказывает существенное влияние на работоспособность топливо-регулирующей аппаратуры двигателей, следовательно, на безопасность полетов воздушных судов [1]. Поэтому в настоящее время уделяется большое внимание очистке авиатоплива и контролю его качества на всех стадиях технологического процесса подготовки [1, 2]. В работах авторов [1–3] были рассмотрены вопросы влияния качества авиатоплива на работоспособность агрегатов и деталей топливной системы воздушного судна. При технологическом процессе подготовки авиатоплива проходит через множество средств топливообеспечения (насосы, резервуары, трубопроводы, фильтроэлементы и т. д.) до заправки его в баки воздушных судов (ВС). В настоящее время мало уделено внимания влиянию качества авиатоплива на работоспособность узлов и агрегатов, задействованных в технологическом процессе подготовки авиатоплива.

В процессе подготовки авиатоплива устанавливалась тенденция изменения уровня его чистоты на этапах от приема до выдачи на заправку. Оценивалось соблюдение действующих нормативов по уровню чистоты авиакеросина и эффективность работы используемых средств очистки авиакеросина. Выполнялась визуальная оценка составных частей загрязнений, оценивалась возможность попадания посторонних продуктов и загрязнений в технологическую систему.

Проведенная оценка качества топлива на этапах от приема до выдачи на заправку необходима для установления возможности технологической системы обеспечивать установленные отраслевые нормативы по уровню качества и чистоты выдаваемого на заправку авиакеросина, работоспособности технологической системы и отдельных ее элементов с учетом их возможного влияния на уровень чистоты и качества авиакеросина.

Результаты проверки уровня чистоты исследуемых проб авиакеросина визуальным методом и с использованием индикаторов качества топлива (ИКТ) соотносились с нормативами, установленными отраслевой нормативной документацией. Анализ фактических данных по содержанию примесей в топливе показывает, что в различных точках отбора в технологической системе очистки топлива присутствуют частицы механических примесей не допустимых нормативами.

Результаты исследования, проведенного в работе, согласуются с результатами исследований специалистов ФГУП ГосНИИ ГА. Авторские результаты представлены в табл. 1. Анализ пробы №227-213, место отбора проб: отстойник ТЗ-81, марка продукта: ТС-1, РТ.

Таблица 1
Table 1

Результаты исследований проб авиатоплива
The results of aviation fuel sampling

Диапазон частиц, мкм	Количество частиц загрязнений в 100 см ³	Класс чистоты по ГОСТ 17216
5–10	2320	8
10–25	1160	8
25–50	240	9
50–100	60	10
больше 100	40	11
волокна	80	15

С целью устранения этих негативных тенденций необходимо проводить работы по совершенствованию системы авиатопливообеспечения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ НАКОПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АВИАТОПЛИВЕ

С целью установления механизма накопления загрязнений в топливе автором проведено сравнение показателей качества авиатоплива, соответствующих требованиям отечественных и зарубежных стандартов. В соответствии с ГОСТ Р 52906-2008 [4], со специальными требованиями (пункт 5.8.10), устанавливаются предельные значения концентрации механических примесей и воды в топливе на входе в фильтроэлементы (ФЭ). Не допускается использование элементов при исходной концентрации загрязнений более 0,05 г/дм³ и содержании свободной воды более 0,05 % масс.

Основным способом очистки топлива от механических примесей является его фильтрация. Поэтому в работе проведен анализ эффективности системы топливоочистки. Был проведен анализ механических примесей на фильтроэлементах, взятых на различных этапах технологического процесса подготовки топлива. На первом слое фильтра-монитора фирмы Velcon, установленного на топливозаправщике, обнаружены частицы загрязнений, размеры которых достигают 62 мкм, видно также присутствие целлюлозных волокон (рис. 1). Фильтр-монитор является последним устройством в цепочке средств очистки авиатоплива.

Анализ уровня чистоты авиатоплива при прохождении всей технологической цепочки системы топливоочистки ТЗК показывает, что уровень загрязнения топлива колеблется в диапазоне 0,2–0,8 г/т. Снижение загрязненности топлива на фильтрах ФГ-120 (15 мкм) может достигать при значениях на входе 0,8 г/т до значений на выходе 0,40 г/т. На рис. 2 представлены микрофотографии частиц загрязнений, попадающих на вход фильтров ФГ-120, расположенных после склада приема топлива и перед складом выдачи топлива. Внешний вид частиц загрязнений механических примесей и волокон, осевших на входе фильтроэлемента (тонкостью фильтрации 15 мкм), показывает их различную структуру, размеры и вероятное происхождение. Более светлые частицы имеют

неорганическую природу и обладают высокой полярностью (соли, оксиды и окалина), темные механические примеси и волокна имеют органическую природу и слабополярны, они в меньшей степени отражают вторичные электроны катодной пушки электронно-сканирующего микроскопа.

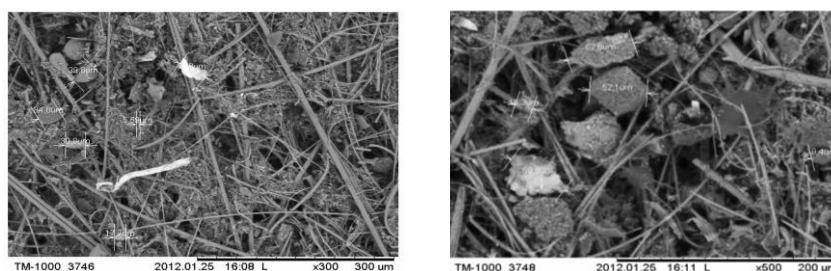


Рис. 1. Микрофотографии первого слоя фильтрующей перегородки фильтра-монитора Velkon после эксплуатации
Fig. 1. Micrographs of the first layer of the filter septum of Velkon filter-monitor after operation

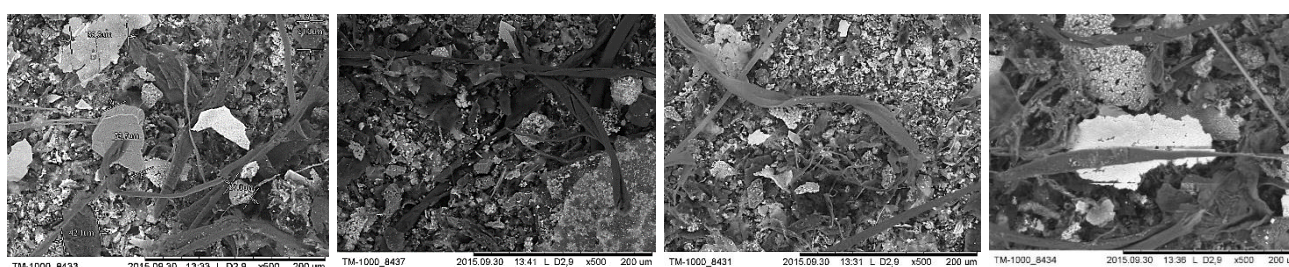


Рис. 2. Микрофотографии частиц загрязнений на входе ФГ-120
Fig. 2. Micrographs of impurity particles at FG-120 entrance

Изменение показателя исходной концентрации загрязнений в топливе и продолжительность их воздействия в эксплуатации практически невозможно отследить, так как в системе топливоподготовки происходят неконтролируемые процессы коагуляции, осаждения, формирования донных осадков, как в резервуарах, так и на поверхностях трубопроводов по всему пути следования топлива. В низших точках происходит накопление загрязнений, с последующим их вымыванием в новоразмерных диапазонах частиц.

Так же трудно выявить физические факторы и процессы, протекающие в отдельных элементах системы топливоподготовки. В работе были изучены статистические данные по уровням загрязненности топлива и закономерности процессов, происходящих в межкладском трубопроводе перекачки топлива с приемного склада в расходный склад (рис. 3, поз. 3 на схеме).

Трубопровод длиной в 2500 метров с условным диаметром 250 мм имеет участки понижения и повышения уровня, а также несколько поворотов изменения направления. В низких точках трубопроводов возникают отстойные зоны накопления примесей.

Объем прокаченного топлива через фильтроэлемент в разные периоды времени значительно отличается, от значения 1659 м³ до 9346 м³ (разница более чем в 5 раз), несмотря на то, что показатели исходной загрязненности топлива перед прокачкой в трубе находятся на одном уровне 0,5–0,8 г/т. Этот факт говорит о том, что в физических процессах присутствует неучтенный фактор негативного влияния на систему топливоочистки. Таким фактором может являться изменение фактического содержания воды в топливе в зависимости от концентрации влаги в окружающем воздухе, которая поступает в резервуары приема топлива в период их опорожнения. Периоды максимальных расходов совпадают с максимальными значениями абсолютной влажности атмосферного воздуха. Механизмы обводнения топлива в резервуарах от поступающего воздуха описаны в научной литературе [5–8]. В приемный резервуар объемом 5000 м³ при его опорожнении поступающий влажный воздух может внести около 50 литров воды, которая частично конденсируется на стенках резервуара и переходит в состав загрязнений авиатоплива.

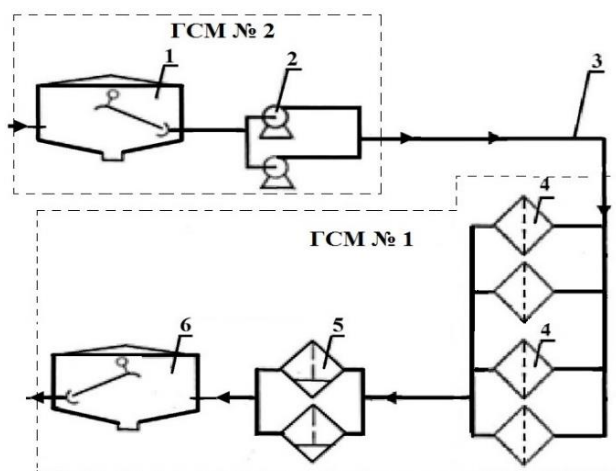


Рис. 3. Схема перекачки топлива по межкладскому трубопроводу:

1 – резервуар приемного склада, 2 – перекачивающие насосы, 3 – трубопровод межкладской, 4 – фильтры 15 мкм, 5 – фильтры водоотделители, 6 – резервуар расходного склада

Fig. 3. Diagram of a fuel transfer on depot-to-depot pipeline: 1 – tank of the receiving depot, 2 – transfer pumps, 3 – depot-to-depot pipeline 4 – filters of 15 micron, 5 – water extractors, 6 – tank of active storage

В трубопроводе топливо движется со скоростью 1,5–2,0 м/с, что обеспечивает его прохождение в течение 30 минут. За это время в ламинарном потоке происходят физические процессы охлаждения, седиментации, выделения капель воды из растворенного состояния в эмульсионное, коагуляции микрокапель и выпадения капель в нижнюю часть трубопровода. Прокачка топлива в трубопроводе происходит периодически и во время остановки прокачки в трубопроводе более интенсивно происходят процессы седиментации загрязнений. Трубопровод по своей длине имеет около 30 поворотов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Причем повороты в вертикальной плоскости создают «карманы» в самых низких точках расположения, которые могут накапливать загрязнения, механические примеси и воду. При этом процессы коагуляции механических примесей в присутствии микрокапель воды приводят к увеличению линейных размеров частиц путем их слипания. Большое количество частиц размерами менее 5 мкм, могут образовывать агрегаты частиц с размерами 5–50 мкм.

При низкой абсолютной влажности окружающего воздуха наблюдается сокращение объема прокаченного через фильтроэлемент топлива, и, наоборот, при высокой влажности воздуха, например, в дождливые дни, – увеличение объема прокаченного топлива. Это, по-видимому, может быть обусловлено увеличением диаметров пор в фильтрующей перегородке, а также снижением прочности и эрозией поровых каналов в фильтрующей шторе за счет намокания целлюлозных волокон. Фильтрующий материал намокает, и увеличивает размеры пор при интенсивной локальной вымываемости волокон, и увеличивает общее значение номинальной тонкости фильтрации. Соответственно, качество очистки топлива в первом случае выше, а во втором случае ниже.

Анализ многолетних данных результатов изменения концентраций загрязнений в авиатопливе позволяет составить схему баланса загрязненности авиатоплива в системе топливообеспечения топливозаправочного комплекса (ТЗК). Схема баланса текущего изменения загрязнений авиатоплива при прохождении всей системы очистки представлена на рис. 4. Изменение значений уровня концентрации механических примесей в каждой точке отбора проб колеблется в широких пределах, минимальные и максимальные значения могут отличаться в 2–3 раза, и вывести закономерности процессов, протекающих в системе топливоочистки, представляется достаточно сложной задачей. Полученный баланс согласуется с приведенными статистическими данными загрязнений по 50 аэродромам средней климатической зоны в работе [9, 10]. Загрязнения, попадающие в топливо на складах горюче-смазочных материалов (ГСМ), составляют до 0,49 г/т (20 %). Это в основном продукты коррозии складского оборудования, а

также продукты атмосферной пыли, износа перекачивающих средств и разрушения прокладочно-уплотнительных материалов.

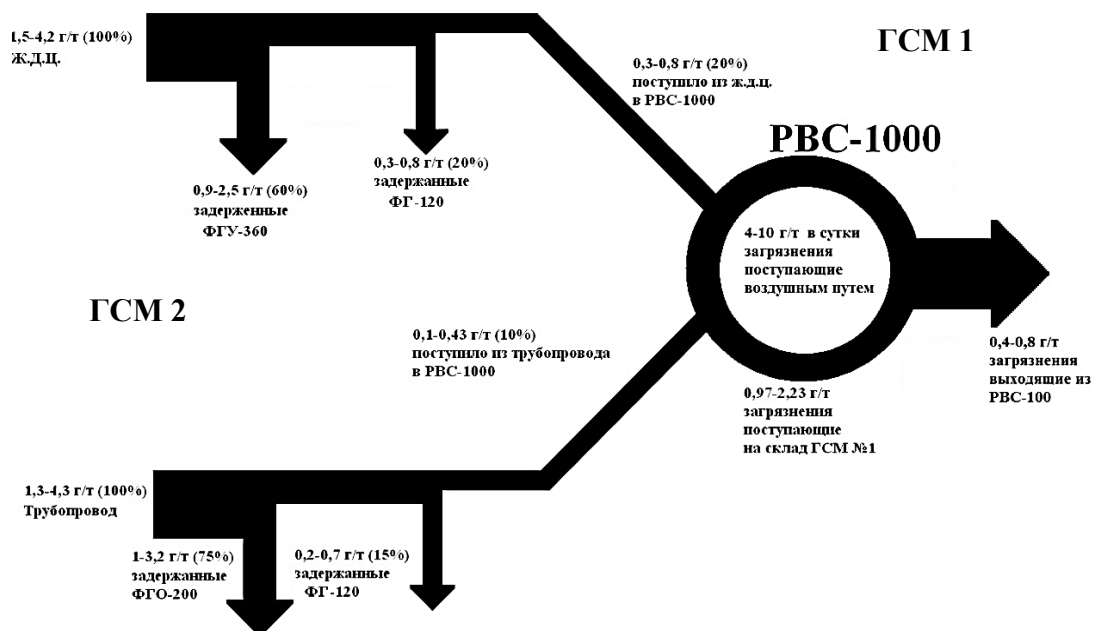


Рис. 4. Схема баланса загрязнения топлива при выполнении технологического процесса авиатопливообеспечения
Fig. 4. Diagram of the balance of fuel contamination during the execution of technological process of the aviation fuel supply

Таким образом, установлен баланс накопления загрязнения авиатоплива при выполнении технологического процесса авиатопливообеспечения в реальном ТЗК. Баланс позволяет оценить тенденцию изменения уровня чистоты авиатоплива на всех этапах от приема до выдачи на заправку, оценить соблюдение действующих нормативов по уровню чистоты авиатоплива и эффективность работы применяемых средств очистки авиатоплива, выявить пути попадания загрязнений в технологическую схему, выработать рекомендации и предложения по совершенствованию системы авиатопливообеспечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, кинетика накопления загрязненности авиакеросина при прохождении по цепочке системы авиатопливообеспечения показывает, что основными источниками поступления загрязнения являются в первую очередь загрязненность топлива, поступающего на ТЗК, попадание загрязнения при «дыханиях» резервуара, волокна и фрагменты пропиточных смол фильтрующих целлюлозных бумаг ФЭ, а также вымываемость загрязнений из осадков во внутренних полостях трубопроводов.

По результатам исследований разработаны рекомендации и предложения по совершенствованию системы авиатопливообеспечения ТЗК.

1. На линии приема авиакеросина из железнодорожных цистерн установить фильтр предварительной фильтрации типа ФГК, ФГН или ТФ-10. В корпусе фильтра предварительной очистки установить фильтроэлементы типа ФЭ или ЭФБ [11].

2. Оборудовать систему авиатопливообеспечения достаточным количеством точек отбора проб, обеспечивающим представительность проб, для оценки эффективности технологической схемы, а также установить возможное влияние оборудования на уровень чистоты.

3. Корректировать критерии замены фильтроэлементов склада GSM-1.

4. Продолжить проведение регулярного контроля (мониторинга) уровня чистоты авиакеросина с использованием ИКТ и весового метода на этапах от приема до выдачи на заправку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Урявин С.П.** Некоторые современные проблемы, угрожающие безопасности полетов воздушных судов / С.П. Урявин, А.Н. Тимошенко // Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. 2012. № 7. С. 62–63.

2. **Velapatio C., Vihelmo C.** Science in NASA, publications and scientific researching, Aviation and Space Technology, Science NASA, USA, 2004. URL: www.nasa.com.

3. **Harold W. GRAEF**, Major, USMC, An Analysis of Microbial Contamination in Military Aviation Fuel Systems (Thesis), Ohio USA, Department of the Air Force Air University. Air Force Institute of Technology, 2003

4. ГОСТ Р 52906-2008. Оборудование авиатопливообеспечения. Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2008. 41 с.

5. **Браилко А.А.** Оценка остаточного ресурса фильтроэлементов / А.А. Браилко, А.В. Смутьский / Информационный сборник Ассоциации организаций авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации. 2013. № 8. С. 66–69.

6. **Рыбаков К.В.** Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов / К.В. Рыбаков, Е.Н. Жулдыбин, В.П. Коваленко. М.: Транспорт, 1979. 181 с.

7. **Титов И.В.** Обводнение авиатоплив и очистка их от механических примесей и воды / И.В. Титов, А.Т. Говоров. М.: ГосНИИ ГА, 1970. 14 с.

8. **Яновский Л.С.** Инженерные основы авиационной химмотологии / Л.С. Яновский, Н.Ф. Дубовкин, Ф.М. Галимов [и др.]. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2005. 714 с.

9. **Большаков Г.Ф.** Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. / Г.Ф. Большаков, 2-е изд., перераб и доп. Л.: Недра, 1982. 350 с.

10. **Рыбаков К.В.** Фильтрация авиационных топлив / К.В. Рыбаков. М.: Транспорт, 1983. 156 с.

11. Руководством по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях ГА Российской Федерации: приказ Департамента воздушного транспорта Минтранса Российской Федерации от 17.10.1992 № ДВ-126. М.: Минтранс РФ, 1992. 114 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

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

THE KINETICS OF CONTAMINANTS ACCUMULATION IN THE JET FUEL DURING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ITS PREPARATION FOR AIRCRAFT REFUELING

Anatoly A. Brailko¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Much attention is paid to the tasks for ensuring domestic and international aircraft safety and regularity, which are multifaceted and complex. One of them is the system of ensuring the quality of aviation fuel for refueling aircraft at airports. A significant influence of the quality, chemical composition and fuel range on the reliability and lifetime of com-

ponents and parts of the aircraft fuel system was studied in the process of development and experience accumulation of aircraft operating, processes of aviation fuel production, as well as during storage, quality control, transportation, refueling preparation and aircraft refueling. Currently, work is being done to study the influence of fuel quality on the units of the technological scheme of fuel-filling complexes, which provide the required cleanliness of the fuel according to the regulations. The article describes the trend level of aviation fuel cleanliness at the stages from receipt to issuance to the refueling station. The evaluation of compliance with existing regulations on the level of jet fuel cleanliness and the efficiency of fuel cleaning facilities is carried out. It is stated that one of the problems of insufficient level of aviation fuel cleaning quality is a violation of the acceptable contamination level of the fuel before the filter. It was found that the disadvantage of the used filter paper is the fiber wash out process. According to this research it was found that while cleaning fuel from mechanical admixtures it is necessary to take into account the technical condition of the filtering element, and proposal was developed for fuel-filling systems to ensure aviation fuel cleanliness in compliance with regulations.

Key words: the filter element, the balance of fuel contaminants, water in fuel, fiber wash out process.

REFERENCES

1. **Uryavin S.P.** *Nekotorye sovremennye problemy, ugrozhajushhie bezopasnosti poletov vozдушnyh sudov* [Some contemporary problems threatening flight safety]. S.P. Uryavin, A.N. Timoshenko. *Informatsionnyy sbornik Assotsiatsii organozatsiy aviatoplivnoobespecheniya vozдушnyh sudov grazhdanskoy aviatsii* [The Bulletin of the Association of the aviation fuel supply organizations of civil aircraft], 2012, No. 7, pp. 62–63. (in Russian)
2. **Velapatio C., Vihelmo C.** Science in NASA publications and scientific researching, Aviation and Space Technology, Science, NASA, USA. 2004. URL: www.nasa.com.
3. **Harold W.** Graef Major, USMC, An Analysis of Microbial Contamination in Military Aviation Fuel Systems (Thesis), Ohio USA, Department of the Air Force Air University. Air Force Institute of Technology, 2003.
4. GOST R 52906-2008. *Oborudovanie aviatoplivoobespechenie. Obshchie tehnicheckie trebovaniya*. [Aviation fuel supply equipment. General technical requirements]. M., STANDARTINFORM, 2008. 41 p. (in Russian)
5. **Brailko A.A., Smul'sky A.V.** *Ocenka ostatochnogo resursa fil'troelementov*. [Assessment of residual life of filter elements]. *Informatsionnyy sbornik Assotsiatsii organozatsiy aviatoplivnoobespecheniya vozдушnyh sudov grazhdanskoy aviatsii* [The Bulletin of the Association of the organizations of aviation fuel supply of the aircrafts of civil aviation], 2013, no. 8, pp. 66–69. (in Russian)
6. **Rybakov K.V.** *Obezvozhivanie aviacionnyh gorjuchestv i mazochnyh materialov* [Dehydration of aviation fuels and lubricants]. K.V. Rybakov, E. N. Zhuldybin, V. P. Kovalenko. M., Transport, 1979. P. 181 (in Russian)
7. **Titov I.V.** *Obvodnenie aviatopliv i ochistka ih ot mehanicheskikh primesej i vody*. [Water encroachment of aviation fuels and purifying them from mechanical impurities and water]. I.V. Titov, A.T. Govorov. M., GosNII GA, 1970. 14 p. (in Russian).
8. **Yanovsky L.S.** *Inzhenernye osnovy aviacionnoj himmotologii* [Engineering fundamentals of aviation chemmotology]. L.C. Yanovskiy, N.F. Dubovkin, F.M. Galimov and others. Kazan, Kazan University Publishing house, 2005. 714 p. (in Russian)
9. **Bol'shakov G.F.** *Vostanovlenie i kontrol' kachesva nefteproductov* [Recovery and quality control of petroleum products]. [2nd edition revised and add]. L., Nedra, 1982. 350 p. (in Russian)
10. **Rybakov K.V.** *Fil'trachiz aviacionnyh topliv* [Filtration of aviation fuels.] / Rybakov K.V. M., Transport, 1983. P. 156. (in Russian)
11. **Rukovodstvo po priemy, hraneniy, podgotovke k vydache na zapravky I kontrolu kachestva aviacionnyh goruche – smazochnyh materialov I special'nyh zhidkostey v predpriyah GA Rossijskoy Federacii: pricz Departamenta vozdyshnogo transporta Mintransa Rossijskoy Federacii ot 17.10.1992 № ДВ-126.** [Guidance on receiving, storage, preparation to the issuance of refueling and quality control of aviation fuels and lubricants and special fluids in the enterprises of civil aviation of

the Russian Federation: the order of the Department of air transport of Ministry of transport of the Russian Federation dated 17.10.1992 No. DV-126]. M., RF Ministry of Transport, 1992. 114 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

Поступила в редакцию 21.09.2017
Принята в печать 23.11.2017

Received 21.09.2017
Accepted for publication 23.11.2017