

УДК 621.45.04

DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-6-22-32

Обеспечение кондиционности авиационных топлив при использовании противоводокристаллизационных жидкостей

К.И. Грядун¹

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

Аннотация: Добавление противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) в авиационные топлива (АТ) является радикальным и сравнительно простым способом борьбы с образованием льда в топливных системах воздушных судов (ВС) и авиационных двигателей (АД). Использование ПВКЖ крайне актуально для нашей страны. Однако отказы элементов топливных систем по причине обледенения случаются и при добавлении в АТ ПВКЖ. В статье показано, что одной из наиболее значимых причин указанного является снижение нормативной концентрации ПВКЖ в АТ после заправки из-за смешения заправляемого топлива с нормативным содержанием ПВКЖ с остатком топлива в баках ВС, как с наличием ПВКЖ, так и без нее. При этом контроль содержания ПВКЖ в АТ после заправки ВС не проводится. Показано, что решением данной проблемы может быть переход на вариативное дозирование ПВКЖ в АТ с учетом остатка топлива в баках ВС и топлива, находящегося в технологическом оборудовании авиатопливообеспечения. Создание дозаторов с изменяемой подачей ПВКЖ в АТ на данный момент не вызывает трудностей. Предложена формула и показан расчет требуемой дозировки ПВКЖ для гарантированного обеспечения ее нормативного значения в АТ после заправки. Также показано, что требуемая дозировка изменяется в весьма широких пределах: от 0,18 до 1,31 % об., и во всех случаях превышает осуществляемую по нормативу для гражданской авиации дозировку $0,125 \pm 0,025$ % об. Совершенствование процедуры дозирования ПВКЖ в АТ необходимо для обеспечения надежности работы топливных систем ВС и АД и обеспечения безопасности полетов.

Ключевые слова: авиационные топлива, противоводокристаллизационные жидкости, «И», «И-М», «ТГФ», «ТГФ-М», дозирование ПВКЖ.

Для цитирования: Грядун К.И. Обеспечение кондиционности авиационных топлив при использовании противоводокристаллизационных жидкостей // Научный Вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26, № 6. С. 22–32.
DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-6-22-32

Ensuring the aviation fuel quality when using anti-water crystallization fluids

K.I. Gryadunov¹

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

Abstract: The addition of anti-water crystallization fluids (AWCF) in aviation fuels (AF) is a radical and relatively simple method to prevent ice formation in the aircraft fuel systems and aviation engines (AE). The anti-water crystallization fluids use is extremely important for our country. However, failures of fuel systems components due to icing also occur when the anti-water crystallization fluids are added to aviation fuel. The article shows that one of the most significant causes is a decrease in standard concentration of the anti-water crystallization fluids in aviation fuels after refueling due to mixing loaded fuel with the standard-anti-water crystallization fluids content with the remaining fuel in aircraft tanks, both with and without the anti-water crystallization fluids. At the same time, the anti-water crystallization fluids content control in aviation fuels after refueling is not carried out. It is shown that the solution to this problem can be a transition to variable anti-water crystallization fluids metering in aviation fuels, taking into account the remaining fuel in the aircraft tanks and the fuel in the aviation fuel supply technological equipment. Developing metering units with the variable anti-water crystallization fluids supply to aviation fuels is not currently associated with issues. The formula is proposed, and the calculation of the required anti-water crystallization fluids metering is shown to ensure its standard

value in aviation fuels after refueling. It is also shown that the required metering varies long-range: from 0.18 to 1.31% vol., and in all the cases, exceeds standard metering of $0,125 \pm 0,025\%$ vol. for civil aviation. The improvement of the anti-water crystallization fluids metering procedure in aviation fuel is feasible to ensure the reliability of aircraft fuel systems and aviation engines operation as well as flight safety.

Key words: aviation fuels, anti-water crystallization fluids, “Г”, “I-M”, “ТНФ”, “ТНФ-М”, anti-water crystallization fluids metering.

For citation: Gryadunov, K.I. (2023). Ensuring the aviation fuel quality when using anti-water crystallization fluids. Civil Aviation High Technologies, vol. 26, no. 6, pp. 22–32. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-6-22-32

Введение

Добавление противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) в авиационные топлива (АТ) является радикальным и сравнительно простым способом борьбы с образованием кристаллов льда в топливах, а также отчасти льда и инея в топливных системах воздушных судов (ВС) и авиационных двигателей (АД). Это первые присадки, которые были внедрены в нашей стране для реактивных топлив (разработаны под руководством Б.А. Энглина) примерно в середине прошлого века [1–6]. При наличии прочих способов борьбы с образованием льда в топливных системах и забивкой льдом фильтров тонкой очистки (ФТО) АД – различные виды обогрева ФТО, подогрев топлива перед его поступлением в ФТО, впрыск спирта на ФТО при наличии на нем увеличенного перепада давления, оборудование системы наддува топливной системы ВС инертными газами (азотом) – этот метод при всех его недостатках является актуальным, особенно для российских условий эксплуатации. Преимущества и недостатки введения ПВКЖ в АТ показаны на рис. 1 [4, 7].

На сегодняшний день в гражданской авиации (ГА) применяют две марки противоводокристаллизационных жидкостей: «И» (ГОСТ 8313-88), «И-М» (ОСТ 54-3-175-73-99). Жидкость «И» представляет собой 100%-ный этилцеллозольв (этиловый эфир этиленгликоля – $C_2H_5OCH_2CH_2OH$), жидкость «И-М» – 50 % этилцеллозольва и 50 % метанола (метиловый спирт – CH_3OH). Изначально в качестве ПВКЖ использовалась только жидкость «И», она же безальтернативно использовалась и до сего дня используется в государственной авиации, жидкость «И-М» была

разработана под руководством К.С. Черновой позже (1970-е гг.) и широко использовалась (используется) в ГА. Наравне с жидкостью «И» использовали марку «ТГФ» (тетрагидрофурфуриловый спирт – $C_4H_7OCH_2OH$), а также ее смесь с метанолом в соотношении 50 : 50 – «ТГФ-М», однако, ввиду того что ТГФ обладает склонностью к окислению и полимеризации, наблюдались случаи некорректной работы и отказов элементов топливорегулирующей аппаратуры АД из-за попадания продуктов окисления ТГФ, поэтому применение присадок «ТГФ» и «ТГФ-М» в начале 1990-х гг. было отменено. На текущий момент использование жидкости «И-М» все более сокращается, так как многие эксплуатанты ВС в ГА не считают целесообразным добавление ПВКЖ.

Кондиционная ПВКЖ, будучи кислородсодержащим органическим соединением, хорошо смешивается с топливом, равно как, благодаря наличию полярной гидроксильной ($-OH$) группы, хорошо смешивается и с водой. При этом из-за наличия гидроксильной группы молекулы ПВКЖ являются полярными, поэтому с водой они образуют устойчивые химические связи (водородная связь) и, соответственно, стойкие растворы в любых концентрациях, а химических связей (ковалентные связи) с углеводородами топлив практически не образуют, поэтому ПВКЖ весьма легко выделяется из топлива при определенных условиях (распределяется между топливом и водным отстоем в баках ВС в соответствии с коэффициентом распределения). Удлинение углеводородной цепи в спиртах приводит к тому, что они перестают растворяться в воде, поэтому добавление метанола к этилцеллозольву повышает раство-



Рис. 1. Преимущества и недостатки введения ПВКЖ в авиационные топлива
Fig. 1. Advantages and disadvantages of the AWCF addition to aviation fuels

римость ПВК-присадки в топливе (повышается коэффициент ее распределения в АТ¹), а также повышает и растворимость воды в присадке [7]. Отсюда следует, что весьма эффективной ПВК-присадкой был бы чистый метанол, однако, как известно, он является сильнодействующим ядом (1 класс опасности), и к его применению предъявляют особые требования, усложняющие эксплуатацию ВС в части обеспечения его авиационными горюче-смазочными материалами, кроме того, он крайне агрессивен по отношению к конструкционным материалам. Таким образом, введенная в АТ ПВКЖ образует устойчивые растворы с растворенной в нем водой² (эмульсии), не замерзающие до температур порядка минус 60 °С. При изменении внеш-

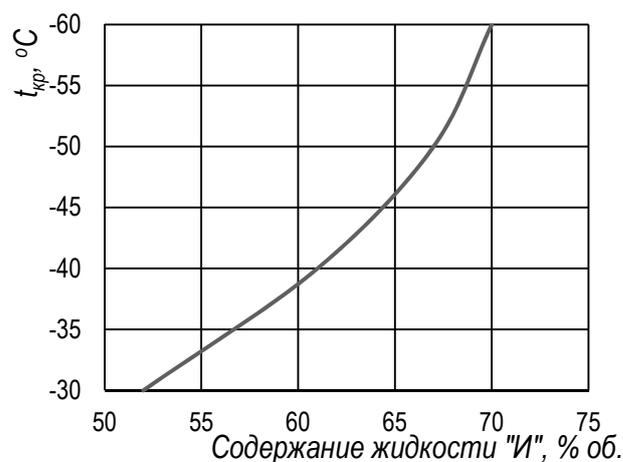


Рис. 2. Влияние концентрации присадки «И» на температуру кристаллизации водного раствора
Fig. 2. Influence of the agent “I” concentration on the aqueous solution crystallization temperature

¹ При температуре 20 °С коэффициент распределения для метанола равен 200, для этилцеллозольва – 84; при температуре минус 20 °С значения коэффициентов составляют 310 и 150 соответственно [8].
² Растворенной (гигроскопической) водой называют воду, находящуюся в межмолекулярном пространстве АТ, попадающую в него из атмосферы вместе с воздухом. Растворимость воды в АТ зависит от плотности АТ, влажности воздуха, давления в надтопливном пространстве, температуры топлива и характеризуется формулой Генри [4].

них условий (снижении температуры и давления) данная эмульсия может выделяться из топлива, смешиваясь с водой, находящейся в топливных системах ВС и АД в других фазах (пар, конденсат, иней, свободная и отстойная вода, лед), и образуя уже с ней низкотемпературные растворы. При этом температура замерзания растворов будет зависеть от концентрации в них ПВКЖ (рис. 2) [3, 4].

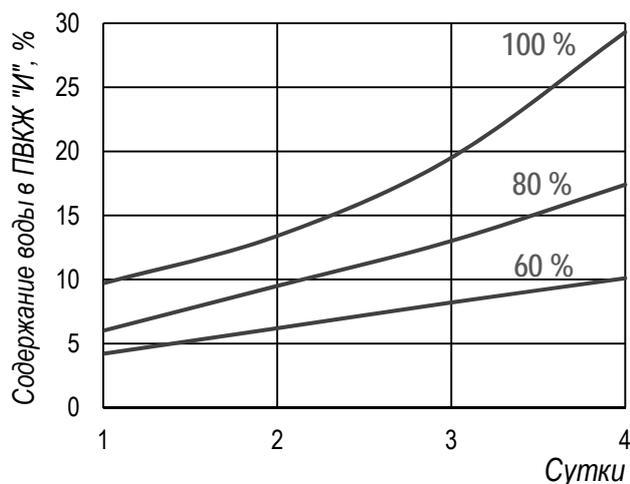


Рис. 3. Насыщение водой ПВКЖ «И» в зависимости от влажности воздуха при комнатной температуре
Fig. 3. AWCF “I” water saturation depending on air humidity at the room temperature

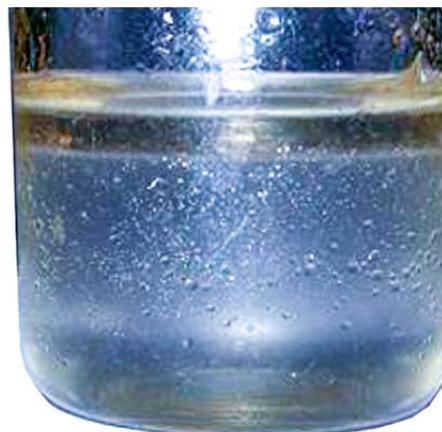


Рис. 4. Водный раствор ПВКЖ «И-М», выпавший в отстой
Fig. 4. The aqueous AWCF “I-M” solution which fell into the sediment

Обводненность или загрязненность ПВКЖ приводит к тому, что присадка практически теряет способность смешения с топливом, ограниченно смешивается с растворенной в топливе водой и быстро выпадает в отстой, поэтому использование ПВКЖ с чистотой, не соответствующей требованиям нормативных документов, запрещается. Хранение топлива с ПВКЖ в полностью заполненной закрытой емкости является весьма стабильным (гарантийный срок хранения составляет 2 года). Если условия хранения нарушены, ПВКЖ достаточно быстро напитывается атмосферной влагой и при дозировании в АТ сразу выпадает в отстой (рис. 3, 4), отсюда же следует, что хранение топлива с ПВКЖ крайне нежелательно [7–9]. Все указанное подчеркивает актуальность введения ПВКЖ непосредственно при заправке ВС максимально равномерными порциями в поток топлива, что в целом и осуществляется в ГА, хотя идут работы над созданием более совершенных дозаторов, максимально равномерно подающих ПВКЖ в заправляемое АТ.

Следует отметить биоцидное действие ПВК-присадок [10]. Добавление жидкостей «И» и «И-М» в топливо в концентрациях порядка 0,1 % об. практически не сказывается на подавлении роста популяций микроорга-

низмов, однако гигроскопичность присадок и их способность выделяться в виде свободной фазы приводит к тому, что в водных отстоях концентрация присадок существенно повышается. При концентрациях ПВКЖ в водных растворах около 2 % об. способность микроорганизмов к размножению утрачивается. На данный момент рассматривается вопрос возврата добавления ПВКЖ-присадок для всех эксплуатирующихся в ГА ВС, идет доработка марок ПВКЖ с целью усиления функции антибактериального реагента [4, 11, 12]. Отсюда следует, что не только при наличии обледенения в топливных баках или технических средствах авиатопливообеспечения, но и при поражении их микрофлорой промывка этих объектов топливом с ПВКЖ является решением данных проблем наравне с аналогичной промывкой импортными биоцидными присадками.

На момент ввода ПВКЖ в эксплуатацию норматив ее дозировки в топливо был определен в количестве $0,3 \pm 0,03$ % об. Спустя некоторое время после проведения эксплуатации под наблюдением для всех рейсов, кроме литерных, в зависимости от типа ВС были установлены нормативы: $0,125 \pm 0,025$ % об.; $0,2 \pm 0,02$ % об. и $0,3 \pm 0,03$ % об. Пределы дозировки были заданы с учетом точности контрольно-измерительной аппаратуры и по-

Таблица 1
Table 1

Показатели качества авиационных ПВКЖ
Quality indicators of aviation AWCF

Показатель качества	Марка ПВКЖ	
	«И-М» (высший сорт)	«И» (высший сорт)
Плотность при температуре 20 °С, г/см ³	0,858–0,864	0,928–0,930
Показатель преломления при 20 °С	1,3660–1,36720	1,407–1,409
Массовая доля воды, %, не более: – на месте производства – на месте потребления	0,1 0,4	0,1 0,1
Наличие растворимых загрязнений	выдерживает испытания	выдерживает испытания
Содержание механических примесей	отсутствие	–
Содержание растворимых соединений металлов	отсутствие	отсутствие
Цвет по платиново-кобальтовой шкале, единицы Хазена, не более	–	8
Число омыления, мг КОН на 1 г продукта, не более	–	0,5
Массовая доля кислот в пересчете на уксусную кислоту, %, не более	–	0,005
Смешиваемость с водой	–	выдерживает испытания
Растворимость в топливе	–	выдерживает испытания
Температурные пределы перегонки (при 101,3 кПа): начало перегонки, °С, не ниже конец перегонки, °С, не выше	– –	134 138
Внешний вид	прозрачная, бесцветная	прозрачная

грешности дозаторов, использовавшихся на тот момент. После авиационного события в 2002 году в Бишкеке норматив ввода ПВКЖ $0,125 \pm 0,025$ % об. (то есть на 1 м³ АТ вводят 1–1,5 л ПВКЖ) был установлен для всех ВС ГА (для вертолетов, эксплуатирующихся в определенных условиях, норматив составляет $0,2 \pm 0,02$ % об.). В государственной авиации действует изначально установленный норматив. Научно обоснованного введения начального норматива ($0,3 \pm 0,03$ % об.) отыскать пока не представляется возможным, вероятно, он был позаимствован из иностранной практики (в США в качестве ПВКЖ под маркой PFA-55MB использовали метилцеллозольв – монометиловый эфир этиленгликоля с указанной дозировкой) и после всесто-

ронных исследований соответствующим образом адаптирован [4, 6, 7].

Сравнительные данные по показателям качества ПВКЖ «И» и «И-М» показаны в табл. 1.

Отдельно стоит отметить преимущества и недостатки добавления метанола к этилцеллозольву (рис. 5) [4, 7].

Тем не менее встречаются случаи отказов топливных систем ВС и АД при добавлении в АТ ПВКЖ (рис. 6, 7)³ [4], причины которых отчасти рассмотрены в данной статье, также предложен метод их устранения.

³ За период с 1990 по 2018 г. в России произошло 303 зарегистрированных события, отнесенных к коду 028 –Топливная система [4].



Рис. 5. Преимущества и недостатки добавления метанола в ПВКЖ «И»
Fig. 5. Advantages and disadvantages of adding methanol to AWCF “I”

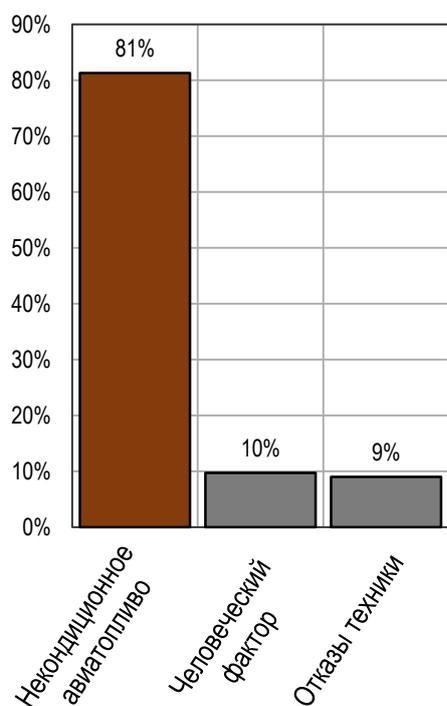


Рис. 6. Причины отказов топливных систем ВС и АД
Fig. 6. Causes of aircraft fuel systems and aviation engines failures

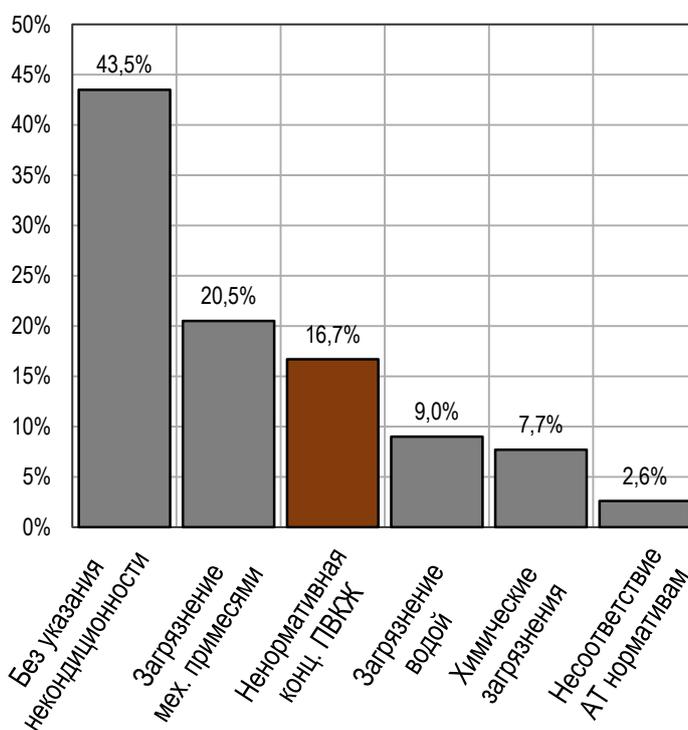


Рис. 7. Причины некондиционности авиационного топлива
Fig. 7. Causes of aviation fuel quality discrepancy

Основные положения

Для определения причин ненормативной концентрации ПВКЖ в АТ был проведен эксперимент по отбору проб АТ после за-

правки ВС АТ с ПВКЖ в вертолетном парке (тип ВС ВК-117). Результаты показаны в табл. 2 и на рис. 8, 9. Определение содержания ПВКЖ осуществлялось рефрактометрическим методом по стандартной методике.

Таблица 2
Table 2

Содержание ПВКЖ в АТ до и после заправки ВС
The AWCf content in aviation fuels before and after aircraft refueling

Номер испытания	Объем топлива в баках ВС до заправки, л	Объем заправляемого АТ в баки ВС, л	Процентное содержание ПВКЖ до заправки ВС, %	Процентное содержание ПВКЖ после заправки ВС, %
1	143	857	0,01	0,09
2	375	625	0,05	0,08
3	420	580	0,10	0,10
4	259	741	0,07	0,09
5	432	568	0,02	0,07
6	680	320	0,10	0,10
7	698	302	0,03	0,05
8	725	275	0,02	0,04
9	852	148	0,05	0,06
10	398	602	0,04	0,08
11	413	587	0,01	0,06
12	526	474	0,06	0,08
13	852	148	0,10	0,10
14	369	631	0,07	0,09
15	542	458	0,03	0,06
16	789	211	0,03	0,04
17	880	120	0,09	0,09
18	662	338	0,08	0,09
19	333	667	0,01	0,07
20	190	810	0,05	0,09
21	810	190	0,02	0,04

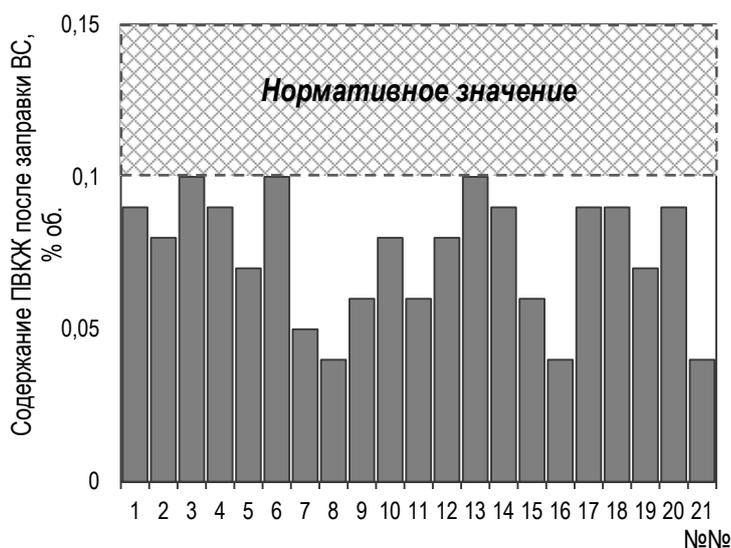


Рис. 8. Содержание ПВКЖ в АТ после заправки ВС
Fig. 8. The AWCf content in aviation fuels after the aircraft refueling

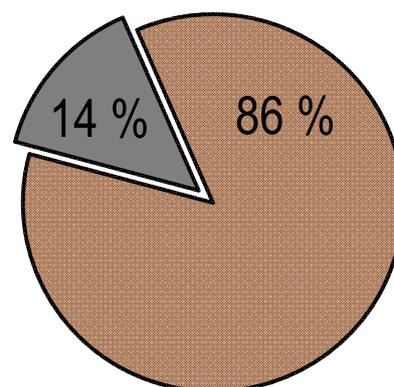


Рис. 9. Процент анализов АТ, в которых содержание ПВКЖ соответствует нормативу
Fig. 9. Percentage of aviation fuels analyses in which the AWCf content meets the established standard

Из представленных данных видно, что после заправки ВС АТ с ПВКЖ с дозированием $0,125 \pm 0,025$ % содержание ее в баках ВС соответствует нижней границе этого норматива лишь в 14 %, в прочих случаях может составлять более чем в 3 раза меньшее содержание.

Проблема, казалось бы, очевидная. Однако в эксплуатации при строгом выполнении дозирования ПВКЖ в заправляемое АТ определение содержания ПВКЖ в АТ после заправки не проводится.

В соответствии с п. 2.5.9 приказа № ДВ-126⁴ и п. 4.3.10 Методических рекомендаций ГосНИИ ГА НЦ-28⁵, если баки ВС полностью или частично заправлены АТ без ПВКЖ, а предстоит выполнение задания, требующего по условиям полета использование АТ с ПВКЖ, то в этом случае по требованию экипажа или эксплуатанта необходимо слить из баков все топливо без ПВКЖ и вновь заправить авиакеросином, содержащим положенное количество ПВКЖ. То есть почти в 86 % случаев было необходимо прибегнуть к указанной процедуре. Понятно, что это процедура просто не может быть применена, так как содержание ПВКЖ в АТ после заправки не контролируется.

Таким образом, поскольку нормативное содержание ПВКЖ принимается за истинно необходимое, существенным пробелом в дозировании ПВКЖ является то, что не учитывается ни остаток АТ в баках ВС, ни количество АТ, находящееся в заправочных рукавах. В случаях с магистральными самолетами ГА остатками в рукавах ($d = 5...7,5$ см, $l = 2,5...20$ м; $V = 5...70$ л) можно пренебречь, при сравнительно небольших заправках вертолетов и легкомоторных самолетов эти остатки уже имеют большое значение.

На текущий момент требуемое количество ПВКЖ при заправке ВС можно определить по формуле [3, 13]

$$V_{\text{ПВКЖ}} = K \cdot \frac{V_T}{100}, \quad (1)$$

где V_T – объем заправляемого топлива, м³;
 K – требуемая концентрация ПВКЖ, %.

На основании изложенного в статье коэффициент K должен быть вариативным, и с учетом остатка топлива и содержания в этом остатке ПВКЖ он может быть рассчитан следующим образом:

$$K = \frac{V_{\text{тобщ}} \cdot K_{\text{потреб}} - V_{\text{ост}} \cdot K_{\text{ост}}}{V_T}, \quad (2)$$

где $V_{\text{тобщ}}$ – общий потребный объем топлива в баках ВС после заправки, м³;
 $K_{\text{потреб}}$ – потребная (нормативная) концентрация ПВКЖ, %;
 $V_{\text{ост}}$ – объем остатка топлива в баках ВС, м³;
 $K_{\text{ост}}$ – остаточная концентрация ПВКЖ в баках ВС, %;
 V_T – объем заправляемого топлива, м³.

Принимая во внимание, что ПВКЖ, заправленная с АТ, после взаимодействия с различными фазами воды теряет свои свойства и практически утрачивает эффективность действия [4, 5, 7, 14], а также учитывая невозможность оценки концентрации ПВКЖ по всему объему топлива, для гарантированного обеспечения потребной концентрации ПВКЖ окончательная формула приобретает упрощенный вид

$$K = K_{\text{потреб}} \cdot \frac{V_T + V_{\text{ост}} + V_{\text{рукав}}}{V_T}, \quad (3)$$

где $K_{\text{потреб}}$ – потребная (нормативная) концентрация ПВКЖ, %;
 V_T – объем заправляемого топлива, м³;
 $V_{\text{ост}}$ – объем остатка топлива в баках ВС, м³;
 $V_{\text{рукав}}$ – объем топлива в заправочном рукаве, м³.

⁴ Руководство по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях воздушного транспорта РФ. М., 1993. 114 с.

⁵ Порядок производства, поставки в гражданскую авиацию, приема, хранения, выдачи и контроля качества противодокристаллизационной жидкости: методические рекомендации по применению авиа-ГСМ. 2-е изд. М.: ФГУП ГосНИИ ГА, 2021. 22 с.

Таблица 3
Table 3

Расчет требуемой концентрации ПВКЖ для гарантированного обеспечения кондиционности АТ в баках ВС по данному показателю
Calculation of the required AWCF concentration to ensure aviation fuel quality in the aircraft tanks according to this indicator

Номер испытания	Объем топлива в баках ВС до заправки, л	Объем заправляемого АТ в баки ВС, л	Требуемая концентрация ПВКЖ, рассчитанная по формуле (3), %
1	143	857	0,18
2	375	625	0,25
3	420	580	0,27
4	259	741	0,21
5	432	568	0,28
6	680	320	0,49
7	698	302	0,52
8	725	275	0,57
9	852	148	1,06
10	398	602	0,26
11	413	587	0,27
12	526	474	0,33
13	852	148	1,06
14	369	631	0,25
15	542	458	0,34
16	789	211	0,75
17	880	120	1,31
18	662	338	0,47
19	333	667	0,24
20	190	810	0,19
21	810	190	0,83

Обратимся к табл. 2 и рассчитаем потребную для гарантированного обеспечения нормативной (0,15 % об.) концентрацию ПВКЖ для дозирования при заправке ВС по формуле (3), принимая остаток топлива в рукаве равным 50 л (табл. 3).

Безусловно, если остаток топлива в баках ВС содержит некоторое количество ПВКЖ, при новом способе дозирования возможно превышение нормативных значений, но незначительная передозировка со всеми ее указанными в статье негативными моментами все же оказывается предпочтительнее, нежели недостаток, который, в сущности, нивелирует смысл добавления этой присадки.

Также следует отметить, что обеспечение организаций авиатопливообеспечения дозаторами ПВКЖ с управляемым и высокоточ-

ным расходом, в том числе массовыми, на сегодняшний день является легко решаемой задачей.

Заключение

В условиях эксплуатации ВС в России как в самой холодной стране мира использование ПВКЖ является актуальным методом борьбы с обледенением в топливных системах ВС и АД. ПВКЖ добавляют в АТ по требованию заказчика. Для обеспечения кондиционности АТ в баках ВС по концентрации ПВКЖ необходимо использовать ее вариативное дозирование. Способ расчета потребной концентрации ПВКЖ (для обеспечения нормативной концентрации в топливе в баках ВС) весьма прост и предложен в данной статье.

Представляется, что использование такого ввода с применением модернизированных дозаторов позволит повысить надежность работы элементов топливных систем ВС и АД, чувствительных к обледенению (ФТО АД, топливомасляные радиаторы, насосы, клапаны, топливомеры, трубопроводы и пр.), и, соответственно, безопасность полетов. Еще более актуальным может быть способ дозирования с учетом конструктивных особенностей топливных систем конкретных типов ВС и типов АД, однако это требует намного более скрупулезных исследований.

Список литературы

1. Пискунов В.А., Зрелов В.Н. Влияние топлив на надежность реактивных двигателей самолетов: химмотологическая надежность. М.: Машиностроение, 1978. 270 с.
2. Братков А.А., Серегин Е.П., Горенков А.Ф. и др. Химмотология ракетных и реактивных топлив. М.: Химия, 1987. 304 с.
3. Углов Б.А. Эксплуатационные свойства реактивных топлив и надежность авиационных силовых установок: учеб. пособие. Куйбышев: КуАИ, 1986. 68 с.
4. Грядунув К.И. Химмотология авиационных горюче-смазочных материалов: учеб. пособие. М.: ИД Академии Жуковского, 2021. 184 с.
5. Орешенков А.В., Гришин Н.Н. Оценка эффективности действия противодоокристаллизационных жидкостей для реактивных топлив // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 217 (7). С. 69–74.
6. Саблина З.А., Широкова Г.Б., Ермакова Т.И. Лабораторные методы оценки свойств моторных и реактивных топлив. М.: Химия, 1978. 238 с.
7. Грядунув К.И. Эксплуатационные свойства авиационных горюче-смазочных материалов: учеб. пособие. М.: ИД Академии Жуковского, 2022. 168 с.
8. Осипов А.О., Осипов О.П. Влияние температуры и концентрации присадки «И-М» на содержание воды в топливе // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 183. С. 34–36.

9. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов: монография. Л.: Недра, 1974. 320 с.

10. Hitzman D., Shotton J., Alquist H. Biocidal effects of PFA 55MB [Электронный ресурс] // SAE Technical Paper 630261, 1963. DOI: 10.4271/630261 (дата обращения: 25.02.2023).

11. Дайнеко И.В., Ковба Л.В. «Газпром-Аэро» внедрила современные методы контроля микробиологического загрязнения авиационного топлива // АвиаСоюз. 2020. № 5 (82). С. 66–68.

12. Вашуров С.А. Спецжидкости для предотвращения образования кристаллов льда в авиатопливе // АвиаСоюз. 2020. № 5 (82). С. 72–73.

13. Грядунув К.И. Химмотология авиационных ГСМ: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ. Воронеж: МИР, 2022. 71 с.

14. Серегин Е.П. Развитие химмотологии. М.: Первый том, 2018. 880 с.

References

1. Piskunov, V.A., Zrelov, V.N. (1978). The influence of fuels on the reliability of aircraft jet engines: chemmotological reliability. Moscow: Mashinostroyeniye, 270 p. (in Russian)
2. Bratkov, A.A., Seregin, E.P., Gorenkov, A.F. et al. (1978). Chemmotology of rocket and jet fuels. Moscow: Khimiya, 304 p. (in Russian)
3. Uglov, B.A. (1986). Jet fuels operational properties and aviation powerplants reliability: a tutorial. Kuybyshev: KuAI, 68 p. (in Russian)
4. Gryadunov, K.I. (2021). Aviation fuels and lubricants chemmotology: Tutorial. Moscow: Izdatelskiy Dom Akademii Zhukovskogo, 184 p. (in Russian)
5. Oreshenkov, A.V., Grishin, N.N. (2015). Action efficiency estimation of anti-icing additives for aviation fuels. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA*, no. 217 (7), pp. 69–74. (in Russian)
6. Sablina, Z.A., Shirokova, G.B., Ermakova, T.I. (1978). Laboratory methods for

assessing the properties of motor and jet fuels. Moscow: Khimiya, 238 p. (in Russian)

7. **Gryadunov, K.I.** (2022). Aviation fuels and lubricants operational properties: Tutorial. Moscow: Izdatelskiy Dom Akademii Zhukovskogo, 168 p. (in Russian)

8. **Osipov, A.O., Osipov, O.P.** (2012). The "I-M" additive temperature and concentration influence on water content in fuel. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA*, no. 183, pp. 34–36. (in Russian)

9. **Bolshakov, G.F.** (1974). Restoration and quality control of petroleum products: Monography. Leningrad: Nedra, 320 p. (in Russian)

10. **Hitzman, D., Shotton, J., Alquist, H.** (1963). Biocidal effects of PFA 55MB. *SAE Technical Paper 630261*. DOI: 10.4271/630261 (accessed: 25.02.2023).

11. **Daineko, I.V., Kovba, L.V.** (2020). Gazprom-Aero has introduced modern methods of control of microbiological contamination of aviation fuel. *AviaSoyuz*, no. 5 (82), pp. 66–68. (in Russian)

12. **Vashurov, S.A.** (2020). Special fluids to prevent the formation of ice crystals in aviation fuel. *AviaSoyuz*, no. 5 (82), pp. 72–73. (in Russian)

13. **Gryadunov, K.I.** (2022). Chemmotology of aviation fuels and lubricants: Educational and methodical manual for performing laboratory work. Voronezh: MIR, 71 p. (in Russian)

14. **Seregin, E.P.** (2018). Development of chemmotology. Moscow: Pervyy tom, 880 p. (in Russian)

Сведения об авторе

Грядунув Константин Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, k.gryadunov@mstuca.aero.

Information about the author

Konstantin I. Gryadunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aviation Fuel Supply and Aircraft Repair Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, k.gryadunov@mstuca.aero.

Поступила в редакцию	05.03.2023	Received	05.03.2023
Одобрена после рецензирования	26.05.2023	Approved after reviewing	26.05.2023
Принята в печать	21.11.2023	Accepted for publication	21.11.2023