

УДК 629.735.015

## ОБВОДНЕННОСТЬ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

**Н.Е. СЫРОЕДОВ, С.А. ГАЛКО, Ф.Е. ШАРЫКИН, Н.А. МУРАТХАНОВ**

В статье представлен анализ обводненности авиационных синтетических масел как одного из важнейших факторов, влияющих на износ деталей двигателя авиационной техники, а также на качество масел в процессе хранения и применения. Раскрыты причинно-следственные связи между изменением эксплуатационных свойств авиационных синтетических масел и их обводненности, влияние обводненности масел на безопасность полетов.

**Ключевые слова:** авиационные синтетические масла, содержание воды, испытания, эксплуатационные свойства, воздушное судно, фильтрующие элементы.

В настоящее время на авиационной технике наряду с минеральными маслами широко применяются следующие отечественные синтетические масла на основе сложных эфиров: ВНИИ НП 50-1-4ф, ВНИИ НП 50-1-4у; Б-3В, АСМО-200, ИПМ-10, КА-7,5, СМАРТ-4у.

Большинство из перечисленных авиационных масел выпускаются нефтеперерабатывающими предприятиями еще с советских времен.

Основными преимуществами синтетических масел является их высокая термическая и термоокислительная стабильность, хорошие смазывающие и низкотемпературные свойства, меньшая испаряемость при работе в двигателе. Однако, обладая целым рядом ценных качеств, обеспечивающих им широкое распространение в жестких условиях применения, синтетические масла имеют и некоторые специфические свойства, ограничивающие, а иногда и исключающие возможность их применения в определенных условиях. К таким свойствам, в частности, относятся повышенная гигроскопичность и способность к образованию при обводнении коррозионно-агрессивных соединений [1–2].

Обводнение масла является одним из важнейших факторов, влияющих на состояние и износ авиационных двигателей в процессе эксплуатации и на качество масла в процессе хранения и применения.

Авиационные синтетические масла на основе сложных эфиров можно рассматривать как производные кислот, у которых атом водорода в гидроксиле замещен остатком кислоты или ацилом [3–5]. Эти масла представляют собой многокомпонентные системы. Наличие присадок, механических загрязнений и воды может значительно изменять механизм и интенсивность гидролиза сложных эфиров. При попадании воды в маслосистемы двигателей или в резервуары масла на основе сложных эфиров, интенсивно поглощают воду, что приводит к значительному понижению термостабильности и защитных свойств масел. Следствием этого является значительное уменьшение периода эксплуатации эфирных масел в системах авиационных двигателей и сроков их хранения.

При отборе проб авиационного масла ИПМ-10 и проведении их физико-химического анализа были получены результаты, представленные в таблице.

Анализ результатов отбора проб показывает, что на заправку авиационной техники подавалось масло с повышенным содержанием воды. Присутствие воды в масле и каталитическое действие других примесей способствует гидролизу масла с образованием спиртов и кислот, а при их взаимодействии с механическими примесями образуются нерастворимые в масле соединения, выпадающие в осадок и концентрирующиеся на секциях масляного фильтра.

Ранее проведенными исследованиями [6–7] установлено, что предельное содержание гигроскопической воды в синтетических маслах при 20 °С и 100 % относительной влажности воздуха составляет: для масла ВНИИ НП 50-1-4ф – (0,18–0,2) %, для масла Б-3В – (0,45–0,5) %, для масла ИПМ-10 – (0,65–0,7) %.

### Результаты физико-химического анализа проб авиационного масла ИПМ-10

№ п/п	Определяемые показатели	Метод определения	Нормы на свежее масло ИПМ-10 по ТУ 38.1011299-2006	Фактические значения показателей в исследуемых пробах				
				Проба 1 (двигатель)	Проба 2 (двигатель)	Проба 3 (двигатель)	Проба 3 (ЗСЖ-66)	Проба 4 (тара)
1	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 3900	≥ 0,820	0,823	0,827	0,823	0,820	0,820
2	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	ГОСТ 33	≥ 4,5	4,71	4,96	4,94	4,70	4,71
3	Кислотное число, мг КОН на 1 г масла	ГОСТ 5985	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
4	Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С	ГОСТ 4333	≥ 190	194	212	211	200	200
5	Содержание воды, %	ГОСТ 2477	–	–	–	–	0,08	0,04
6	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	ГОСТ 6307	–	–	–	–	–	–

При более продолжительных испытаниях содержание воды в масле увеличивается, достигая 0,6 % в масле Б-3В, 0,8 % в масле ИПМ-10 и 0,22 % в масле ВНИИ НП 50-1-4ф. При этом масло становится мутноватым, так как даже незначительное колебание температуры приводит к нарушению равновесного состояния и образованию микроэмульсии воды в масле.

При повышении температуры на каждые 20 °С содержание гигроскопической воды в маслах увеличивается от 0,04 % для масла ВНИИ НП 50-1-4ф до 0,13 % для масла ИПМ-10. Таким образом, синтетические масла обладают достаточно высокой гигроскопичностью, что является основным источником обводнения масел при их хранении и эксплуатации.

Вода в масле может привести к изменению физического состояния системы «основа масла – присадки», вымывая некоторые из присадок или образуя с ними комплексы, плохо растворимые в масле. Высокие полярные свойства воды при ее наличии могут способствовать не только изменению физического состояния масла и взаимодействию с его компонентами, но и активному участию в поверхностных явлениях, протекающих в узлах трения, то есть вода может не только изменять состав и свойства масла, но и воздействовать на трущиеся поверхности деталей.

Важным эксплуатационным свойством масел является обеспечение запуска двигателя при низких температурах. Основным оценочным показателем этого свойства масла является вязкость масла при температуре запуска.

Хотя в маслах Б-3В, ВНИИ НП 50-1-4ф и ИПМ-10, насыщенных водой, изменение вязкости не превышает допустимых норм и не отражается на их пусковых свойствах, образование кристаллов льда может оказать большое влияние на надежность запуска двигателя, привести к временной забивке масляного фильтра, форсунок и к уменьшению или прекращению подачи масла к узлам трения в момент запуска двигателя.

Проведенные исследования [6–7] нижних концентрационных пределов содержания воды, при которых образуются видимые кристаллы льда при выдерживании масла в течение 24 часов при температуре минус 20 °С, показали, что предельное содержание воды, при котором еще не образуются кристаллы льда, составляет для масла ВНИИ НП 50-1-4ф – 0,1 %, для масла Б-3В –

0,25 %, для масла ИПМ-10 – 0,45 %. При понижении температуры растворимость воды в масле уменьшается, и поэтому уменьшаются нижние концентрационные пределы образования кристаллов льда. Таким образом, если концентрация воды равна или превосходит пределы ее растворимости в масле при данной температуре, то при понижении температуры это приводит к образованию кристаллов льда, что может отразиться на снижении надежности запуска двигателя.

Установлено, что при попадании воды в масло некоторые его компоненты в определенных условиях могут с той или иной степенью интенсивности подвергаться гидролизу с образованием коррозионно-активных соединений, чаще всего такими компонентами являются противоизносные и противозадирные присадки серо-, хлор- и фосфорсодержащие соединения, а также сложные эфиры. В результате этого смазывающие свойства масел под влиянием воды ухудшаются.

Снижение предельной работоспособности обводненных масел Б-3В и ИПМ-10 при повышенных нагрузках вызывает снижение эффективности действия противоизносной присадки «Каптакс». Многообразие факторов, определяющих возможность воздействия воды на трущиеся поверхности, обуславливают различные, иногда противоречивые результаты. По-видимому, при работе обводненных масел в узлах трения в той или иной мере проявляются всевозможные механизмы действия воды, как адсорбированной на поверхности трения, так и диспергированной в объеме масла.

Значительное изменение противоизносных и противозадирных свойств происходит в синтетических маслах, подвергнутых гидролизу. Гидролиз синтетических масел, содержащих различные функциональные присадки, существенно ухудшает эффективность их действия, и снижает тем самым смазывающую способность масел, что объясняется следующими причинами:

- наличие некоторых присадок, например, ТКФ, приводит к значительному увеличению кислых соединений в масле и увеличению за счет этого коррозионно-механического износа;
- противоизносные присадки подвержены гидролизу, что снижает эффективность их действия. Кроме того, при гидролизе образуются минеральные кислоты, которые в сочетании с небольшим количеством растворенной воды увеличивают износ за счет коррозии и, соответственно, ухудшают показатели противоизносных и противозадирных свойств.

Этим объясняется значительное увеличение износа, снижение критической нагрузки и рост несущей способности наиболее склонного к гидролизу масла ВНИИ НП 50-1-4ф. Смазывающие свойства масел Б-3В и ИПМ-10, обладающих более высокой гидролитической способностью при гидролизе, изменяются незначительно.

Таким образом, кратковременный контакт синтетических масел с водой в условиях, исключающих протекание гидролиза, не вызывает значительных изменений их смазывающих свойств. Гидролиз синтетических масел является причиной значительного снижения противоизносных и противозадирных свойств. Наличие воды в синтетических маслах, склонных к гидролизу, приводит к образованию коррозионно-активных соединений, вызывающих сильную химическую коррозию металла.

Причины попадания воды в масла могут определяться технологией производства, условиями транспортирования, хранения и применения, а также составом и свойствами компонентов самих масел. Основными источниками обводнения авиационного масла являются [8]:

- технологическая вода;
- гигроскопическая вода;
- вода, образующаяся при окислении масла;
- вода, образующаяся при конденсации водяных паров;
- вода, поступление которой вызвано нарушением правил хранения или специфическими условиями эксплуатации.

Попадание в масло в процессе производства может происходить, когда технологический процесс не обеспечивает полного удаления воды из масла, когда ее удаление приводит к значительному увеличению стоимости производства.

Технология производства синтетических масел Б-3В и ИПМ-10 не в полной мере обеспечивает их выработку с отсутствием воды. Для полного удаления воды из указанных масел необходимо строительство цеха осушки масел, что приведет к заметному повышению стоимости масел. А если учесть, что при кратковременном хранении в товарных резервуарах и при затаривании массовое содержание воды за счет гигроскопичности увеличивается до 0,1 %, то целесообразность такой осушки была бы весьма сомнительной.

Обводнение масел происходит также в процессе транспортирования и хранения за счет температурных колебаний воздуха и конденсации влаги, а также при непосредственном попадании атмосферной влаги в случае негерметичного хранения.

Проведенными исследованиями установлено, что в процессе длительного хранения синтетических масел в закрытой таре массовое содержание воды в них достигает 0,15–0,18 %, при негерметичном кратковременном хранении содержание воды в них за счет гигроскопичности может увеличиваться до 0,27 % [8].

В процессе эксплуатации авиационной техники наряду с гигроскопичностью происходит конденсации на деталях маслосистемы двигателя и стенках маслобака содержащихся в атмосфере воздуха паров воды. Особенно заметно этот процесс происходит при повышенной разности температур паровоздушного пространства маслосистемы и стенок маслобака.

Обводнение масел может происходить при специфических условиях эксплуатации авиационной техники, при полетах воздушных судов с газотурбинными двигателями в дождливую погоду возможно обводнение масла в системе и нарушение работы подшипников. В турбохолодильниках воздушных судов за счет конденсации влаги из воздуха на выходе из турбины образуется большое количество воды, которая через уплотнительные кольца подшипника турбины попадает в масло. Образование воды возможно также при окислении масла, особенно в процессе эксплуатации, так как она является одним из продуктов окисления: около 50 % кислорода, поглощаемого маслом при окислении, расходуется на образование воды [9].

В реальных условиях хранения и применения причиной обводненности масел могут служить, как правило, все перечисленные источники. Доля того или иного источника в общем объеме воды, накапливающейся в масле, определяется конкретными условиями эксплуатации техники или хранения масла, а также составом и свойствами его компонентов.

По причине возможного обводнения и связанного с этим ухудшения эксплуатационных свойств при применении синтетических масел введены некоторые ограничения, снижающие эффективность их использования и увеличивающие эксплуатационные расходы. Повышение содержания воды в масле приводит к необходимости слива отстоя масла при обслуживании воздушного судна. Послеполетные сливы отстоя масла приводят не только к повышению затрат на обслуживание авиационной техники, но и ведут к повышенному расходу масла, так как вместе с водой происходит частичный слив самого масла. Эти мероприятия частично предотвращают вредное воздействие обводненных синтетических масел на работу двигателей и агрегатов, однако приводят к большим эксплуатационным затратам, связанным не только с увеличением расхода топлива и масла, но и ресурса двигателя.

Следует отметить, что широкое применение синтетических масел в изделиях наземной техники, в гидравлических системах воздушных судов, где возможность их загрязнения значительно увеличивается, требует глубокого изучения процессов очистки масел.

Обобщая анализ вероятностного содержания загрязнений авиационных масел на разных стадиях их применения, следует выделить важность мероприятий по очистке масел от воды и механических загрязнений непосредственно перед заправкой его в баки авиационной техники.

В настоящее время разработаны технологии очистки авиационных синтетических масел от свободной воды и механических загрязнений, создан типоразмерный ряд средств очистки масел с производительностью от 5 до 30 л/мин. В качестве фильтрующих материалов в данных средствах очистки применяются полимерные материалы пространственно-глобулярной структуры [10].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новосартов Г.Т., Ечин А.И., Виленкин А.В.** Новые авиационные масла // Техника и вооружение. 1979. № 5. С. 18–19.
2. **Резников М.Е.** Топлива и смазочные материалы для летательных аппаратов. М.: Воениздат. 1973. 230 с.
3. **Мамедьяров М.А.** Химия синтетических масел. Л.: Химия, 1989. 240 с.
4. Эксплуатационные свойства смазочных масел на синтетической основе. Серия: Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. Тематический обзор. М.: ЦНИИТнефтехим, 1989. 92 с.
5. **Каган Л.Х.** Синтетические смазочные масла, рабочие жидкости и их компоненты. М.: Химия, 1980. 176 с.
6. Исследование гигроскопичности синтетических масел / А.И. Ечин, Г.Т. Новосартов, Е.А. Попова, Т.Б. Кондратьева // Нефтепереработка и нефтехимия. 1980. № 2. С. 25–26.
7. **Ечин А.И.** Разработка путей повышения гидrolитической стабильности синтетических масел: дис. ... канд. техн. наук. М., 1982. 178 с.
8. Исследование причин обводненности авиамасел в маслосистемах летательных аппаратов / Е.А. Баканов, В.П. Захарчук, П.П. Захарчук, Ю.А. Михайлов // 3-я научно-техническая конференция по проблеме «Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазочных материалов и технических жидкостей». Тезисы докладов. Киев, 1973. С. 84.
9. **Черножуков Н.И., Крейн С.Э.** Окисляемость минеральных масел. М.: Гостоптехиздат, 1955. 398 с.
10. Перспективное направление развития средств фильтрации жидкостей / Н.Е. Сыроедов, С.А. Галко, Ф.Е. Шарыкин, Г.Е. Шарыкин // Наука и технологии. Материалы XXXV Всероссийской конференции, посвященной 70-летию Победы, 16–18 июня 2015 г. / Под ред. Н.П. Ершова. М.: РАН, 2015. Т. 1. С. 117–121.

## WATERING OF SYNTHETIC OILS FOR AIRCRAFT

**Syrojedov N.E., Galko S.A., Sharykin F.E., Muratkhanov N.A.**

The article presents the analysis of aviation synthetic oils watering, as one of the most important factors affecting the engine wear of aircraft equipment, as well as the quality of oils during storage and use. Cause-and-effect relationship between the change of operational properties of synthetic aviation oils and their watering, as well as the influence of oil watering on flight safety are disclosed.

**Key words:** aviation synthetic oil, the water content, testing, performance characteristics, aircraft filter elements.

## REFERENCES

1. **Novosartov G.T., Echin A.I., Vilenkin A.V.** Novye aviacionnye masla. Tehnika i vooruzhenie, 1979. № 5. С. 18–19.
2. **Reznikov M.E.** Topliva i smazochnye materialy dlja letatel'nyh apparatov. M: Voenizdat, 1973. 230 s.
3. **Mamed'jarov M.A.** Himija sinteticheskikh masel. L.: Himija, 1989. 240 s.
4. Jekspluatacionnye svojstva smazochnyh masel na sinteticheskoj osnove. Serija: Neftepererabatyvajushhaja i neftehimicheskaja promyshlennost'. Tematicheskij obzor. M.: CNIITneftehim, 1989. 92 s.
5. **Kagan L.H.** Sinteticheskie smazochnye masla, rabochie zhidkosti i ih komponenty. M.: Himija, 1980. 176 s.
6. **Echin A.I., Novosartov G.T., Popova E.A., Kondrat'eva T.B.** Issledovanie gigroskopichnosti sinteticheskikh masel. Neftepererabotka i neftehimija. 1980. № 2. С. 25–26.

**7. Echin A.I.** Razrabotka putej povyshenija gidroliticheskoj stabil'nosti sinteticheskikh masel. Dis. ... kand. tehn. nauk. M., 1982. 178 s.

**8. Bakanov E.A., Zaharchuk V.P., Zaharchuk P.P., Mihajlov Ju.A.** Issledovanie prichin obvodnennosti aviamasel v maslosistemah letatel'nyh apparatov. 3-ja nauchno-tehnicheskaja konferencija po probleme «Jekspluatacionnye svojstva aviacionnyh topliv, smazochnyh materialov i tehniceskikh zhidkostej». Tezisy dokladov. Kiev, 1973. S. 84.

**9. Chernozhukov N.I., Krejn S. Je.** Okisljaemost' mineral'nyh masel. M.: Gostoptehizdat, 1955. 398 s.

**10. Syroedov N.E., Galko S.A., Sharykin F.E., Sharykin G.E.** Perspektivnoe napravlenie razvitija sredstv fil'tracii zhidkostej. Nauka i tehnologii. Materialy XXXV Vserossijskoj konferencii, posvjashhennoj 70-letiju Pobedy, 16–18 ijunja 2015 g.; pod red. N.P. Ershova. M.: RAN, 2015. T. 1. S. 117–121.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сыроедов Николай Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», профессор кафедры авиатопливообеспечения МГТУ ГА.

**Галко Сергей Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».

**Шарыкин Федор Евгеньевич**, старший научный сотрудник ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», fedor\_rf@mail.ru.

**Муратханов Никита Артурович**, младший научный сотрудник ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».