

УДК 621.7.024.4

Н.Г. Кравченко¹, И.А. Козлов¹, В.К. Щекин¹, Е.А. Ефимова¹

СОСТАВЫ МОЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПРОМЫВКИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-1-105-113

Рассмотрены различные составы моющих композиций для удаления загрязнений с металлических поверхностей. Описано назначение компонентов в составе моющих средств и их влияние на свойства моющих композиций. Приводятся примеры перспективных направлений развития данной области, в том числе касающиеся улучшения моющих свойств, антикоррозионных характеристик, пожаробезопасности и экологичности. Уделено внимание составам, обеспечивающим одновременно и промывку, и консервацию металлических изделий. Показана актуальность определения воздействия составов на другие материалы изделия, с которыми возможен контакт применяемых моющих средств при промывке без разборки двигателя.

Ключевые слова: моющее средство, состав моющей композиции, авиационный двигатель, коррозионная агрессивность, газоздушный тракт, лопатки газотурбинного двигателя, защитные составы.

N.G. Kravchenko¹, I.A. Kozlov¹, V.K. Shchekin¹, E.A. Efimova¹

CLEANING CHEMICAL COMPOSITIONS FOR AIRCRAFT ENGINES (review)

Different detergent compositions for removing contaminants from metal surfaces are considered. Components of detergent compositions and their effect on the properties are described. Examples of promising studies in this area are given, including those related to improving detergent properties, anticorrosion characteristics, fire safety and environmental friendliness. Attention is paid to compositions that provide simultaneous washing and preservation of metal. It is reported to determine effect of detergent compositions on other materials of aircraft.

Keywords: detergent compositions, components of detergent compositions, aircraft engine, metal corrosion, engine flow path, gas turbine blades, protective coatings.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

На детали газоздушного тракта (ГВТ), в частности на лопатки турбины, могут оседать содержащиеся в воздухе частицы масел, аэрозоли морских солей, частицы пыли, почвы и органических веществ [1]. В результате меняются термодинамические характеристики газотурбинного двигателя (ГТД), снижаются коэффициент полезного действия и выходная мощность двигателя, увеличиваются рабочая температура, расход топлива и эмиссия вредных веществ. В процессе эксплуатации ГТД в морских условиях на его узлах и деталях появляются солевые отложения, которые могут вызвать ухудшение параметров двигателя и служить предпосылками к возникновению и развитию коррозионных поражений [2]. Существует необходимость постоянно следить за чистотой

поверхностей деталей и агрегатов ГВТ ГТД, так как пыль, грязь и соли в сочетании с влагой способствуют разрушению защитных покрытий, особенно в щелях и зазорах, а также могут быть причиной возникновения и развития коррозионных поражений [3–5].

Основными мероприятиями по профилактическому уходу за узлами и деталями ГТД являются: регулярные осмотры ГВТ двигателей самолетов и вертолетов с целью обнаружения их повреждений, нарушений лакокрасочных, металлических и других защитных покрытий; выявление коррозионных поражений; регулярная промывка ГВТ пресной водой или специальными моющими составами для удаления отложений солей и загрязнений с последующей просушкой, а также межполетная консервация ГВТ специальными защитными составами с целью предупреждения возникновения коррозионных поражений. Для межполетной консервации можно использовать водные растворы ингибиторов коррозии, эмульсии, минеральные масла и другие специальные консервационные составы.

Существуют основные способы очистки ГТД от различных загрязнений [6]:

– использование различных абразивных компонентов путем впуска их в работающий двигатель. Применение такого способа влечет за собой повреждение защитных покрытий лопаток и поверхностей деталей. В настоящее время данный метод на современных двигателях практически не применяется;

– демонтаж и разборка двигателя. Этот способ является эффективным, однако достаточно дорогостоящим и требующим демонтажа двигателя с доставкой его на завод. Длительные интервалы между заводскими ремонтами в свою очередь ведут к эксплуатации с пониженными рабочими характеристиками.

Регулярная промывка – лучший способ очистки двигателя. Это довольно несложная и быстрая процедура, при которой промывочный раствор или дистиллированная вода с использованием специальной установки для промывки подается под давлением в ГВТ двигателя. Промывка является более качественной на режиме «холодной прокрутки», так как моющий раствор в основном находится на очищаемой поверхности и, соответственно, очистке подвергаются большие площади внутренних поверхностей двигателя. Преимущество промывки на работающем двигателе заключается в скорости этой операции – нет необходимости останавливать двигатель.

На эффективность промывок влияют такие важные факторы, как регулярность и соблюдение технологии их проведения, а также тип моющих жидкостей. Интервалы между промывками определяются местом эксплуатации, уровнем запыленности атмосферы, качеством топлива и т. д. Главным показателем является допустимый уровень снижения мощности двигателя. Установлено, что своевременная промывка ГВТ может обеспечивать восстановление рабочих характеристик практически до формулярных значений в течение 50000 ч.

При попадании в ГВТ химикатов, распыляемых сельскохозяйственной авиацией, капель и брызг морской воды при эксплуатации самолетов и вертолетов морской авиации (посадки на водяную поверхность, полеты и зависание над морем, базирование на кораблях и в непосредственной близости от моря и т. д.) необходимо после летного дня промыть проточную часть ГТД пресной водой или специальными моющими составами в соответствии с нормативно-технической документацией [7]. Выбор предлагаемых к использованию промывочных жидкостей очень широк.

Цель данной статьи – обзор существующих в настоящее время промывочных составов, используемых для удаления органических и неорганических загрязнений с металлических поверхностей, в частности при промывке ГВТ ГТД.

Составы моющих средств

Свойства технических моющих средств в значительной степени обусловлены характеристиками входящих в их состав компонентов. Подбор компонентов определяется исходя из назначения моющей композиции – каждый компонент выполняет соответствующую функцию в сложном механизме очистки техники. При этом основными видами компонентов, входящими в состав синтетических моющих средств, являются действующие активные вещества (органические растворители, кислоты, щелочные добавки, неионогенные и ионогенные поверхностно-активные вещества (ПАВ)), разрыхлители, комплексообразователи, эмульгаторы, пеногасители, ингибиторы, необходимые для промывки и консервации проточной части ГТД.

К моющим средствам предъявляются три основных требования:

- высокая смачивающая способность, определяемая продолжительностью времени (в секундах) с момента выемки образца из раствора до разрыва водяной пленки на его поверхности: чем больше продолжительность, тем выше моющая способность моющего средства;

- высокая степень очистки, определяемая как отношение массы удаленных загрязнений к массе загрязнений до очистки (% по массе);

- коррозионная стойкость материалов промываемых изделий по отношению к применяемым моющим средствам. В частности, для определения воздействия на металлические материалы в авиационной отрасли руководствуются ОСТ1 90257–89 [8].

В случае применения моющих составов для одновременной консервации и промывки оценивают максимальную защиту очищаемых изделий от коррозии в межоперационный период хранения, определяемый продолжительностью времени (в сутках) с момента завершения мойки до появления первых очагов коррозии на очищенной поверхности без дополнительных консервационных покрытий.

Состав моющего раствора зависит от типа и характера загрязнения, которое необходимо удалить.

Солевые отложения на узлах и деталях ГВТ ГТД в теплое время года относительно легко удаляют с помощью пресной (опресненной) воды, дистиллята или пароводяной смеси на режиме «малого газа» с последующей просушкой его на этом же режиме. Промывку двигателя проводят сразу после окончания летной смены (полетного дня). Удаление солевых отложений с деталей ГВТ осуществляют с использованием специальных установок. После промывки проточной части двигателя водой во избежание появления коррозии необходима обязательная консервация ГВТ двигателя специальными составами.

В результате термоокисления смазочных масел и топлива образуются углеродистые отложения, представляющие собой нагары, лаковые пленки, осадки и асфальтосмолистые вещества [9]. Для удаления остатков масел, топлив и смазок применяют растворы щелочных композиций.

Щелочные составы представляют собой смесь из нескольких щелочных солей и ПАВ. Дополнительно они должны содержать компоненты для смягчения воды, чтобы соли кальция и магния не воздействовали на ПАВ, предупреждать коррозию черных и цветных металлов, а также сплавов в процессе очистки и межоперационного хранения.

Основными щелочными солями являются каустик, кальцинированная сода, триполифосфат натрия, тринатрийфосфат, метасиликат натрия и др. [10, 11].

Выбор поверхностно-активных веществ в составе современных моющих средств представлен в основном неионогенными ПАВ, в том числе различными этоксилатами [12]. Неионогенные ПАВ не создают ионы в водных растворах и, следовательно, обладают важными преимуществами: они абсолютно невосприимчивы к жесткости воды,

демонстрируют высокую эффективность даже при низких концентрациях и температурах. В частности, это: неол АФ 9-10 – этоксилированный нонилфенол, синтанолы ДС-10 и АЛМ-10 – моноалкиловые эфиры полиэтиленгликоля на основе первичных высших жирных спиртов фракций C_{10} – C_{16} (ДС-10) и C_{12} – C_{14} (АЛМ-10), а также полиэтиленгликолевые эфиры моноэтаноламидов синтетических жирных кислот фракций C_{10} – C_{18} (синтамид-5) [13]. Кроме того, выбор синтанолов зависит от температуры помутнения и требуемой вязкости моющего средства.

При сильном пенообразовании рекомендуется вводить пеногасящие добавки (дизельное топливо, керосин и различные пеногасители) в количестве 0,2–0,3% к объему раствора.

Полагают, что введение в моющие составы амидов жирных кислот способствует удалению органических загрязнений за счет получаемого синергетического эффекта – повышения скорости перехода органических примесей. В частности, предложен состав, содержащий, % (по массе): 2,0–6,5 полиоксиэтилированного моноэтаноламида синтетических жирных кислот фракции C_{10} – C_{18} ; 0,2–1,0 моноэтаноламина; 0,8–3,5 трибутилфосфата; остальное – вода. Эффективность возрастает также при добавлении калиевой соли алкилфосфорной кислоты и карбометилцеллюлозы (0,0005–0,002% (по массе)), проявляющих ингибирующие и синергетные свойства [14].

Например, известны щелочные композиции, в состав которых вводят кальцинированную соду, метасиликат натрия, триполифосфат натрия, полиоксиэтилированный моноэтаноламид синтетических жирных кислот фракции C_{10} – C_{18} , а также бензоат или нитрит натрия.

В качестве комплексообразователя также применяются корилат и/или трилон Б, содержащиеся в количестве до 0,3% (по массе) [15].

В патенте [16] указан состав для очистки двигателей от нагара преимущественно при отрицательной температуре, включающий керосин, тринатрийфосфат, оксиэтилированный синтетический жирный спирт фракции C_{10} – C_{18} (синтанол ДС-10), силикат натрия, динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б), а также воду и отличающийся тем, что для повышения очищающей способности в нем дополнительно содержатся этиленгликоль и этилцеллозольв.

Силикаты натрия являются хорошими эмульгаторами, предотвращают обратное осаждение отмытых загрязнений, разъедание щелочами цветных металлов и сплавов, ржавление чугуна и стали [17]. Таким образом, силикаты выполняют роль ингибитора черных и цветных металлов, а также сплавов. Однако следует учитывать, что метасиликат натрия в щелочной среде может давать осадок в виде гелеобразного SiO_2 , затрудняющего процесс отмывки очищаемой поверхности и образующего взвешенный, труднофильтруемый осадок, что затрудняет очистку использованных растворов от примесей.

Тринатрийфосфат не обладает высокой комплексообразующей способностью, вследствие чего моющая способность композиции может быть снижена [18]. Но в то же время тринатрийфосфат и триполифосфат, содержащиеся в моющем средстве, связывают поливалентные ионы металлов, устраняя временную жесткость воды, и обладают наряду с ПАВ и метасиликатом натрия антикоррозионным и эмульгирующим действием [19].

В качестве разрыхлителя для промывки деталей, поверхность которых имеет трудноудаляемые металлизированные маслообразные загрязнения, используют трибутилфосфат. Кроме того, приводится вариант состава моющего раствора для металлической поверхности, содержащий синтанол ДС-10, триполифосфат натрия, метасиликат натрия, соду кальцинированную, а также дополнительно моноборат калия [20].

Моющее средство для очистки емкостей и металлических поверхностей от загрязнений, включающее ПАВ – неол и синтаמיד-5, а также ингибитор коррозии, метасиликат натрия, кальцинированную соду, каустическую соду, полифосфат натрия и сульфат натрия, отличается тем, что в качестве ингибитора коррозии содержатся жидкое стекло с кремнеземистым модулем 2,7 и силикат с кремнеземистым модулем 4,0 [21]. Технический результат – усиление моющего действия целевого продукта при одновременном снижении его коррозионной активности.

Интенсификация процесса очистки увеличивается за счет повышения температуры очищающих реагентов. Эффективность удаления плотных и старых отложений значительно возрастает при использовании горячих растворов (40–80 °С) [22–24].

Для удаления оксидных, известковых, карбонатных и т. п. отложений с черных сталей и керамики используют технические моющие средства на основе комплекса кислот – как органических, так и неорганических. Их применяют и в чистом виде, и в виде растворов в воде, эфирах и спиртах. Из органических кислот используют уксусную, щавелевую, олеиновую и лимонную кислоты, в состав которых в связи с их коррозионной агрессивностью целесообразно включать ингибиторы кислотной коррозии: соли хромовой, фосфорной и азотной кислот, а также уротропин и моноэтаноламин. Количество таких ингибиторов в кислотных очищающих составах колеблется в диапазоне от 0,01 до 0,1% (по массе).

Очистка металлических поверхностей органическими растворителями (бензин, керосин, дизельное топливо, уайт-спирит, ацетон и т. д.) имеет ряд преимуществ: отсутствие коррозионного воздействия, возможность использования при температуре окружающей среды, но характеризуется огнеопасностью и невозможностью добиться полной очистки. Несмотря на ряд недостатков, органические растворители применяют для очистки деталей от углеродистых отложений и консервационных смазок, а также для промывки топливных и масляных агрегатов [25].

Эмульсионные препараты представляют собой смеси органических растворителей с эмульгаторами (ПАВ) или щелочными растворами. Этими видами моющих средств можно удалять такие виды загрязнений, которые не удаляются с помощью одних растворителей или щелочных растворов. Преимуществами являются: увеличение эмульгирования масляных загрязнений в результате снижения их вязкости при разбавлении органическим растворителем, усиление действия ПАВ благодаря повышению смачиваемости растворителем поверхности металла, получение нейтрального препарата для очищения любых металлов, а также хорошая смываемость остатков благодаря присутствию эмульгаторов.

При низких температурах наружного воздуха в составе моющих средств активно используют антифризы на основе пропиленгликоля (экологически более безопасный), этиленгликоля, изопропилового спирта или метанола.

Защитные моющие составы

При промывке проточной части двигателя водой во избежание появления коррозии необходима обязательная консервация ГВТ специальными составами [26]. Например, для этой цели в состав моющего средства добавляют минеральное масло МС-8П с присадкой АКОР-1, смеси консервационного масла К-17 и керосина ТС-1 или РТ.

В настоящее время все бóльшую популярность приобретают составы, которые могут использоваться одновременно и для промывки, и для временной консервации металлических материалов. Для антикоррозионной защиты (консервации материала) в состав моющего средства следует добавлять различные ингибиторы. Образовавшаяся защитная пленка обеспечивает временную противокоррозионную защиту [27].

Например, техническое моющее средство ТМС ДП удаляет оксидные, известковые, карбонатные и другие отложения с любых поверхностей, а также обладает комбинированным воздействием на очищаемую поверхность: обезжиривает, очищает от отложений и одновременно пассивирует (создает защитную пленку) [28].

Раствор, содержащий синтаמיד-5, синтанол ДС-10, триэтанолламин, олеиновую кислоту, трилон Б, трибутилфосфат и ингибиторы коррозии (тетраборат натрия), применяют для межоперационной промывки, а также расконсервации деталей, приборов и топливной аппаратуры авиационной техники, изготовленных из черных и цветных металлов [29]. Поверхности деталей, промытые в указанном растворе, устойчивы к атмосферной коррозии в период межконсервационного хранения в течение 10–20 сут.

Кроме того, для этой цели известен состав на основе ПАВ, моноэтаноламина, активированной присадки, ингибитора олеиновой кислоты и воды [30]. Данные составы являются перспективными моющими средствами в связи с тем, что не содержат неорганических солей, которые могут оставлять налет соли на очищаемых поверхностях.

В научно-технической литературе указывается информация о необходимости выбирать компоненты, не способствующие образованию золы для предотвращения постепенного загрязнения ГВТ. Содержание в продукте нелетучего остатка также должно быть невысоким.

Применение в качестве моющего состава смеси таких компонентов, как синтаמיד-5, глицерин и дистиллированная вода, обеспечивает высокое качество очистки деталей ГВТ двигателя, не вызывая коррозии и дополнительных отложений в условиях использования на деталях двигателя, а также не требуя последующей промывки его чистой водой [31]. Продукты сгорания моющего состава не отличаются от продуктов сгорания топлива, и поэтому не вызывают дополнительного загрязнения окружающей среды.

В настоящее время для промывки проточной части ГТД активно применяют зарубежные средства фирм Turbotect Ltd и McGean-Rohco Ltd (Великобритания) – Т-950, Т-927, Т-2020 и ZOK-27 [32, 33]. Данные моющие средства – на водной основе, содержат неионогенные ПАВ и используются для промывки, удаления застарелых загрязнений и временной антикоррозионной защиты (консервации) двигателей благодаря наличию ингибитора коррозии, а также способны продолжительное время оставаться стабильными в связи с присутствием в составе эмульгаторов.

В качестве органического растворителя в моющих жидкостях М-1 и М-2 используют керосин ТС-1 и РТ. Концентрат М-1 хорошо удаляет остатки масел, сажи, угольной пыли и другие нефтяные загрязнения [34]. Моющая жидкость М-1 превосходит зарубежные аналоги по эффективности удаления маслянистых загрязнений, такие как Turbotect и Zok, но значительно их дешевле.

Промывочные жидкости серии «Ультра» представляют собой водный раствор без углеводородных растворителей и фосфатов, содержащий ПАВ, эфиры двухатомных спиртов и добавки, улучшающие моющие и антикоррозионные свойства.

При выборе ингибиторов учитывают рН (кислотность) получаемого моющего средства и совместимость продукта с алюминием, магнием, никелем, никель-кадмием, нержавеющей сталью, титаном и традиционными покрытиями, включая окрашенные поверхности и эластомеры.

В качестве ингибиторов применяют соли аминов растительного происхождения (Малкор), бензотриазол, моноэтаноламин, триэтанолламин, олеиновую кислоту, уротропин и присадку АКОР-1 [35–37].

Наибольший ингибирующий эффект проявляется при использовании комбинаций различных соединений, например нитрита натрия с полифосфатом натрия, а также

водных растворов моноэтаноламина (7–10 г/л) с нитритом натрия (2–3 г/л). Кроме того, применяют смеси хроматов с полифосфатами, хроматы с нитратами и другие комбинации веществ.

Известен концентрат моющего раствора с защитными свойствами, содержащий сульфонат натрия, олеат триэтаноламина, триэтаноламин, нитрит натрия, а также эфир олеиновой кислоты и триэтаноламина. Раствор отличается низким пенообразованием и имеет хорошие антикоррозионные и моющие свойства, однако получение указанного концентрата включает отдельную дополнительную стадию производства эфира олеиновой кислоты и триэтаноламина при высокой температуре, что значительно усложняет технологию получения концентрата [38, 39].

В научно-технической литературе упоминается концентрат моющей консервационной жидкости на основе воды, триэтаноламина, олеата триэтаноламина и нитрита натрия, который дополнительно содержит неионогенное ПАВ – оксиэтилированный изононилфенол, триэтаноламиновые соли кислот, входящие в состав таллового масла, и водорастворимый силиконовый пеногаситель. Преимущество данного состава заключается в пониженном пенообразовании при сохранении на высоком уровне антикоррозионных, консервационных и моющих свойств. Существенным достоинством также является использование доступного сырья, а также возможность обеспечивать защиту поверхностей деталей от коррозии на период возможного хранения [40].

Заключения

На основе проведенного анализа научно-технической литературы определены основные виды компонентов, используемых в составе моющих растворов. Это – активные действующие вещества (растворители, щелочные и кислотные добавки), разрыхлители, комплексообразователи, ПАВ, деэмульгаторы, пеногасители и антикоррозионные добавки. Для достижения лучшего смывающего эффекта по отношению к старым многолетним загрязнениям применяют смеси органических растворителей с эмульгаторами (ПАВ) или щелочные растворы. Для исключения воздействия щелочных и кислотных составов на металлы, а также увеличения продолжительности защиты (улучшения консервационных свойств) вводят различные ингибиторы, эффективные по отношению к различным цветным и черным металлам.

Анализ научно-технических публикаций и охранных документов показал следующие тенденции развития в области получения составов моющих средств для удаления различных видов загрязнений: увеличение скорости и качества очистки металлических поверхностей, универсальность моющих средств по отношению к широкому спектру загрязнений, т. е. способность удалять несколько видов загрязнений, и обеспечение дополнительной защиты металлов от коррозии после промывки. Важное место также отводится экологическим и более пожаробезопасным продуктам, в частности применению неионогенных ПАВ и отказу от легковоспламеняемых растворителей.

Для авиационной промышленности большой интерес в настоящее время представляют технические моющие средства, которые возможно применять в процессе эксплуатации для регулярных промывок проточной части без разборки двигателя и снятия соответствующих деталей для очистки. Для этой цели во ФГУП «ВИАМ» ведется разработка промывочно-консервационных составов. Применение таких моющих средств должно уменьшить трудоемкость при ремонтных работах и минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду и персонал. Для этого, кроме основных свойств моющих средств, следует оценивать степень их воздействия на резинотехнические детали, лакокрасочные покрытия и другие авиационные материалы [41–43]. Указанные комплексные виды работ выполняются во ФГУП «ВИАМ» – ведущем материаловедческом институте.

Библиографический список

1. Старцев В.О., Славин А.В., Николаев Е.В. Изучение содержания агрессивных ионов в атмосфере и морской воде Геленджикской бухты // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2020. №10 (92). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.11.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-106-115.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.
3. Каримова С.А., Кутырев А.Е., Фомина М.А., Чесноков Д.В. Моделирование процесса воздействия агрессивных компонентов промышленной атмосферы на металлические материалы в камере солевого тумана // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 35–40.
4. Ветрова Е.Ю., Щекин В.К., Курс М.Г. Сравнительная оценка методов определения коррозионной агрессивности атмосферы // Авиационные материалы и технологии. 2019. №1 (54). С. 74–81. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81.
5. Медведев И.М., Никитин Я.Ю., Пузанов А.И., Лаптев А.Б. Методы испытаний жаропрочных сплавов на стойкость к сульфидно-оксидной коррозии (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2018. №11 (71). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.10.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-11-93-100.
6. Вахрушев Е.С. Промывка ГВТ двигателя – одно из важнейших условий сохранения его эффективности // Пермские газовые турбины. Транспорт газа и энергетика. 2009. № 15. URL: http://www.pnz.ru/pr/other/ntex/ib15_3/ib15_20-21/ (дата обращения: 19.11.2020).
7. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность при морской атмосфере. Часть 1. Факторы влияния (обзор) // Коррозия: материалы, защита. 2013. №12. С. 6–18.
8. Орлов М.Р. Стратегические направления развития Испытательного центра ФГУП «ВИАМ» // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 387–393.
9. Яновский Л.С., Ежов В.М., Молоканов А.А., Шаранина К.В., Кирсанов А.В. Смазочные масла для турбовальных двигателей и редукторов вертолетов // Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 60–63.
10. Способ ремонта деталей: пат. 2234401 Рос. Федерация; заявл. 03.07.03; опубл. 20.08.04.
11. Савченко В.И. Очистка и мойка машин. М.: Россельхозиздат, 1974. 124 с.
12. Cleaning gas turbine compressors: pat. US4808235A; filed 15.01.88; publ. 28.02.89.
13. Поверхностно-активные вещества и моющие средства: справочник / А.А. Абрамзон. М.: Гиперокс, 1993. 270 с.
14. Состав для удаления органических загрязнений: пат. 2157404 Рос. Федерация; заявл. 23.06.99; опубл. 10.10.00.
15. Моющее средство «ПАН» для очистки поверхности от органических загрязнений (варианты) и способ его использования для очистки скважин, трубопроводов и емкостей от осадков нефтепродуктов и их отложений: пат. 2309979 Рос. Федерация; заявл. 31.07.06; опубл. 10.11.07.
16. Состав для очистки двигателя от нагара: пат. 1202292 СССР; заявл. 12.04.84; опубл. 27.01.97.
17. Моющее средство для очистки поверхности от органических загрязнений: пат. 2425864 Рос. Федерация; заявл. 25.03.10; опубл. 10.08.11.
18. Сумич А.И., Ещенко Л.С. Влияние добавок на устойчивость насыщенного раствора тринарийфосфата // Труды Белорусского государственного технологического университета. Сер. 3: Химия и технология неорганических веществ. Минск: БГТУ, 2010. С. 83–87.
19. Моющий состав: пат. 2179998 Рос. Федерация; заявл. 27.03.00; опубл. 27.02.02.
20. Моющее средство для очистки деталей, узлов и агрегатов транспортных средств: пат. 2620593 Рос. Федерация; заявл. 25.04.16; опубл. 29.05.17.
21. Моющее средство для очистки емкостей и металлических поверхностей от загрязнений: пат. 2387704 Рос. Федерация; заявл. 24.02.09; опубл. 27.04.09.
22. Ujam A.J., Ekere P.O., Chime T.O. Performance Evaluation of a Gas Turbine Power Plant by the application of Compressor Off-Line and On-Line Water Washing Techniques (A Case Study of 450MW Sapele Power Station in Delta State, Nigeria) // IOSR Journal of Engineering. 2013. Vol. 3. Issue 11. P. 29–41.

23. Stalder J.P. Gas Turbine Compressor Washing State of the Art: Field Experiences // *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. 2001. Vol. 123. P. 363–370.
24. Syverud E., Brekke O., Bakken L. Axial compressor deterioration caused by saltwater ingestion // *Journal of Turbomachinery*. 2007. Vol. 129.No. 1. P. 119–126.
25. Chemical cleaning solution for gas turbine blades: pat. WO 2001/040548; filed 30.11.00; publ. 30.10.02.
26. Чесноков Д.В., Авдюшкина Л.И., Ефимова Е.А. Применение профилактических ингибированных составов для дополнительной защиты самолетов от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. 2016. №S2. С. 11–14. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-S2-11-14.
27. Веролайнен Н.В., Ворончихина Л.И. Синтез и свойства маслорастворимых поверхностно-активных веществ на основе пиромеллитового диангидрида // *Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Химия*. 2012. №13. С. 81–88.
28. Техническое описание моющего средства ТМС производства НПП «Технобиор» // *Технобиор: офиц. сайт*. URL: <http://www.technobior.ru> (дата обращения: 23.10.2020).
29. Моющее средство «Вертолин-74» для межоперационной промывки и расконсервации металлических деталей: пат. 662578 СССР; заявл. 01.09.76; опубл. 15.05.79.
30. Бедрик Б.Г., Чулков П.В., Калашников С.И. Растворители и составы для очистки машин и механизмов: справочник. М.: Химия, 1989. 176 с.
31. Способ промывки газоздушного тракта газотурбинного двигателя: пат. 1776846 СССР; заявл. 10.06.91; опубл. 23.11.92.
32. Средства для очистки газовых турбин. URL: <https://www.zok.com/products.html> (дата обращения: 23.10.2020).
33. Energy Capital Products: Turbotect. URL: <https://www.power-technology.com/products/turbotect> (дата обращения: 16.11.2020).
34. Моющие жидкости. URL: <http://lemix-samara.ru/liquid.html> (дата обращения: 16.11.2020).
35. Композиция для получения полимерного ингибированного покрытия с увеличенной маслостойкостью и способ нанесения полимерного ингибированного покрытия с увеличенной маслостойкостью: пат. 235069 Рос. Федерация; заявл. 31.08.07; опубл. 20.06.09.
36. Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №2 (35). С. 67–75. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75.
37. Aqueous compositions and method for cleaning gas turbine compressor blades: pat. WO2005/024095A1; filed 17.08.04; publ. 17.03.05.
38. Концентрат моюще-консервационной жидкости: пат. 2024605 Рос. Федерация; заявл. 14.04.92; опубл. 15.12.94.
39. Концентрат моюще-консервационной жидкости: пат. 2218385 Рос. Федерация; заявл. 29.08.02; опубл. 10.12.03.
40. Концентрат моюще-консервационной жидкости: пат. 2215777 Рос. Федерация; заявл. 22.04.02; опубл. 10.11.03.
41. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
42. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
43. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П. Исследование основных эксплуатационных свойств нового класса уплотнительных материалов для проточного тракта ГТД // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №3. С. 15–20.