

УДК 621.452.3:62-521.017

В.П. МОГИЛЬНИКОВ, А.В. ИОНОВ*ОАО «Лётно-исследовательский институт им. М.М. Громова»,
Жуковский, Московская область, Россия.***МЕТОДИКИ ЛЁТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА,
ОТБИРАЕМОГО ОТ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
НА НУЖДЫ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Представлены экспериментальные данные по оценке загрязнения воздуха кабин современных ЛА. Показано, что основной загрязнитель – пары и аэрозоль смазочных масел (и их присадки) ГТД. Именно эти примеси воздуха отвечают за появление в салонах самолётов запаха «гари» и даже дыма, увеличивая риск лётных происшествий. Показано, что остальные примеси – продукты разложения масел, присутствуют в воздухе кабин в значительно меньших количествах и эти количества зависят от конкретных условий разложения масла в ГТД. Разработан расчётный метод, позволяющий оценивать содержание большинства примесей-продуктов разложения масел, чьё присутствие в воздухе кабин ЛА регламентировано §831 АП-25, без отбора для этого полётных проб (полётные пробы отбираются только для последующего анализа на содержание смазочного масла). Метод основан на экспериментально подтверждённом постоянстве качественного состава продуктов разложения. Количественный состав продуктов разложения определяется на специальном стенде, имитирующем процессы разложения масла в ГТД в зависимости от режимов его работы. Разработан упрощённый вариант такого стенда на базе обычного газового хроматографа.

Ключевые слова: предельно допустимые концентрации, токсичные примеси, продукты разложения масла, газотурбинный двигатель, летательный аппарат.

Введение

Основной источник загрязнения воздуха кабин ЛА - унос смазочного масла из передних опор двигателей с его последующим полным или частичным разложением в тракте компрессора ГТД (в зависимости от режима его работы). Оценка чистоты воздуха, отбираемого от ГТД, происходит в соответствии с требованиями п. 33.66 (b), п. 33.75 (g) Авиационных правил АП-33 [1] в обеспечение проверки пригодности отбираемого из двигателя воздуха для непосредственного использования в системе кондиционирования для наддува и вентиляции кабин в отношении содержания примесей двигательного происхождения и п. 831 Авиационных правил АП-25. Для удовлетворения данных требований должны соблюдаться следующие условия:

(1) Концентрация окиси углерода, превышающая 1 часть на 20000 частей воздуха, считается опасной. При испытаниях может использоваться любой приемлемый метод обнаружения окиси углерода.

(2) Должно быть показано, что концентрация углекислого газа не превышает 0,5% по объёму (эквивалент на уровне моря) в помещениях, обычно занимаемых пассажирами или экипажем.

(d*) Содержание других токсичных примесей

не должно превышать следующие ПДК (в мг/м³): паров топлива – 300; паров и аэрозоля минеральных масел – 5; паров и аэрозолей синтетических масел – 2; акролеина – 0,2; фенола – 0,3; формальдегида – 0,5; бензола – 5; трикрезилфосфата – 0,5; диоктилсебацината – 5; окислов азота – 5. Оценку чистоты воздуха ГТД проводят в стендовых условиях на земле. Между тем условия работы ГТД в полёте отличаются от наземных. Это касается и условий работы передних опор. Поэтому для вновь разрабатываемых двигателей целесообразна проверка чистоты воздуха в условиях лётного эксперимента на летательной лаборатории.

В статье представлены материалы по загрязнению воздуха кабин современных ЛА. Представлен расчётный метод, позволяющий оценивать содержание большинства примесей-продуктов разложения масел, чьё присутствие в воздухе кабин ЛА регламентировано §831 АП-25, без отбора для этого полётных проб (полётные пробы отбираются только для последующего анализа на содержание смазочного масла).

Данные по загрязнению воздуха кабин самолётов были систематизированы в работах GCAQE [2-3]. Эта созданная в 2006г. неправительственная организация (Global Cabin Air Quality Executive) представляет собой

ведущую организацию экипажей самолетов непосредственно связанных с проблемами загрязненного воздуха. Организация включает 15 союзов, представляя десятки тысяч работников транспорта всего мира. По запросу GCAQE Европейское Авиационное Управление Безопасности (EASA) выпустило ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ УВЕДОМЛЕНИЕ О ПРЕДЛОЖЕННОЙ ПОПРАВКЕ (A-NPA) NO 2009-10 “Качество атмосферы кабины бортов больших самолетов”. Из этого документа следует, что в Европейском Экономическом Сообществе большинство отчетов о задымлении кабин, связанных с утечками масла, инициировано от Объединенного Королевства (Великобритания). Согласно представлению из Управления гражданской авиации Великобритании к Управлению в марте 2007, было заявлено о 104 летных случаях на больших самолетах между 1999 и 2006 гг.; пик событий (26) появляется в 2001, затем сопровождается значительным уменьшением в 2002 и 2003. Это уменьшение в количестве событий может быть объяснено мерами, принятыми в 2001-2002 к двум типам самолетов, где произошло большинство событий (BAE146 и B757); эти меры состояли в осмотрах и корректирующих действиях, позволяющих ограничить риск утечек масла от ВСУ и двигателей. Затем, после очень спокойного периода другой пик событий появился в 2006 (26 событий). Никаких официальных сообщений из Управления гражданской авиации Британского Королевства для EASA на 2007 и 2008 не поступало, но сообщено, что есть тенденция к уменьшению количества случаев задымления.

Управление также попросило базу данных ИКАО о событиях на больших самолетах, между 1970 и апрелем 2009. Оказалось, что не было никаких событий, о которых сообщалось бы, до начала 90-ых, когда количество ежегодных отчетов о случаях появления запахов или дыма увеличилось с пиком в 2001-2002 (соответственно 27 и 29 событий), затем быстро уменьшилось (3 события в 2007, 0 в 2008 и 2009). Вывод из базы данных ИКАО тот же самый, что большинство событий было связано с двумя ранее упомянутыми типами самолетов (BAE146 и B757). Аналогично, как и в британской статистике Управления гражданской авиации, уменьшение числа событий замечено после введения исправительных мер в 2001-2002.

Нужно заметить, что эти события не вызывали катастрофических последствий или травм со смертельным исходом. Некоторые люди были ранены во время эвакуации из самолета. Но нет никаких сведений в отчете, что упоминавшийся самолет ставил под угрозу и создавал опасность или повреждения пассажирам. При рассмотрении данного случая, оказывается, что сведения, о которых сообщают пассажиры самолетов, часто очень отличаются у

разных людей. Например, один пилот ничего не замечает, хотя другой описывает симптомы поражения (в основном слизистых и дыхательных путей). Самые серьезные симптомы те, что нарушают работу летного экипажа. Тогда, главная угроза безопасности была бы двойной — ухудшение здоровья пилота и недееспособность во время критической фазы полета, такой как касание или приземление, что грозит катастрофой. Однако в большинстве случаев симптомы несерьезны, (раздражение, чувство нездоровья), и случаи недееспособности очень редки (например, в Великобритании за 2006 отмечено всего два таких случая).

Тем не менее, статистика, собранная респондентами GCAQE, говорит о большем количестве летных происшествий, связанных с задымлением кабин самолётов продуктами пиролиза масла и связанных с этим случаев ухудшения здоровья пассажиров и экипажей. При этом, специалисты GCAQE ошибочно не рассматривают масляный аэрозоль (дым), как самостоятельное токсичное соединение, а особое внимание обращают на присадки масла, такие как трикрезилфосфат (ТКФ). Однако ТКФ легко разлагается при высоких температурах ГТД (уже при 200⁰С).

Таким образом объяснить вредное воздействие на организм паров и аэрозолей масла наличием в них токсичных присадок не удаётся. Токсикологи РФ выделяют эти компоненты как самостоятельные токсичные примеси. По данным ЛИИ аэрозоль синтетического масла в концентрациях более 2 мг/м³ вызывает у испытуемых ощущение запаха гари, а при концентрации выше 50 мг/м³ визуально воспринимается как дым, что может послужить причиной возникновения стрессовой и далее аварийной ситуации. Анализ предыдущего материала показывает, что именно появление паров и аэрозолей масла в воздухе отвечает за большее количество летных происшествий, связанных с неблагоприятным воздействием примесей воздуха кабин ЛА на экипаж и пассажиров. Поэтому в дальнейшем предложено особое внимание при проведении сертификационных испытаний обратить на определение в воздухе кабин ЛА содержания масла (тяжёлых продуктов разложение с молекулярной массой более 300 у.е.).

В России в настоящее время единственным документом, оформленным и утверждённым в установленном порядке, который регламентирует процедуры отбора и анализа проб воздуха ГТД является МУ 1.1.258-99 [2] (далее по тексту – МУ). На рис. 1 изображена предложенная в МУ схема отбора. Принципиальная схема и соединение функциональных частей системы отбора проб представлены на рис. 2. (для отбора проб воздуха на 3-х режимах работы двигателя).

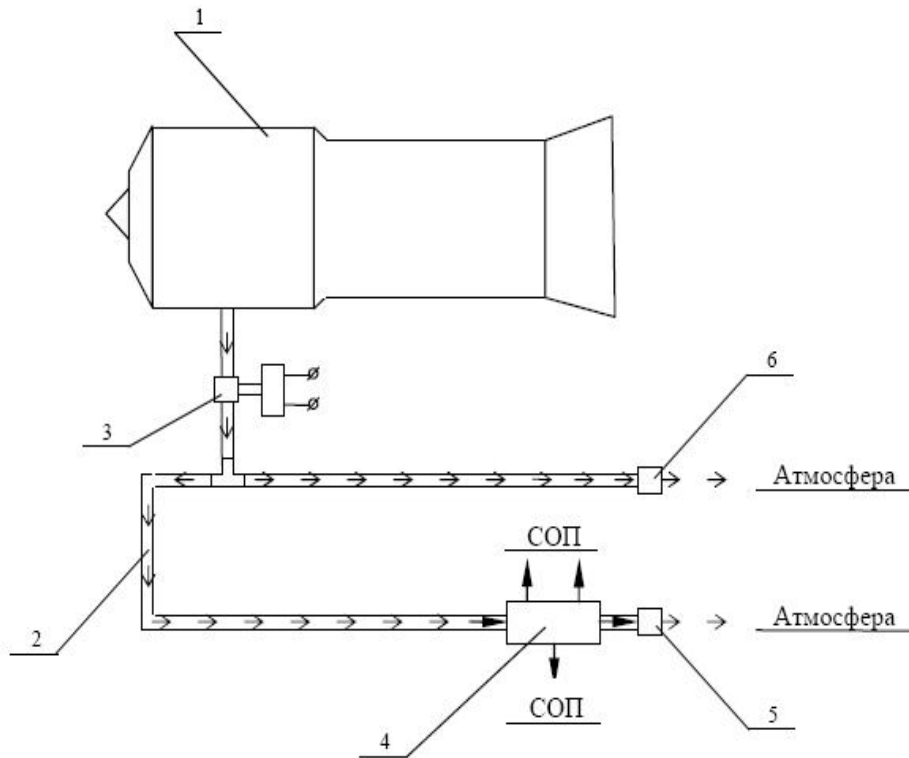


Рис. 1. Монтажная схема присоединения СОП к двигателю:
1 – ГТД, 2 – трубопроводы, 3 - кран-заслонка, 4 – диффузор, 5 и 6 – жиклёры

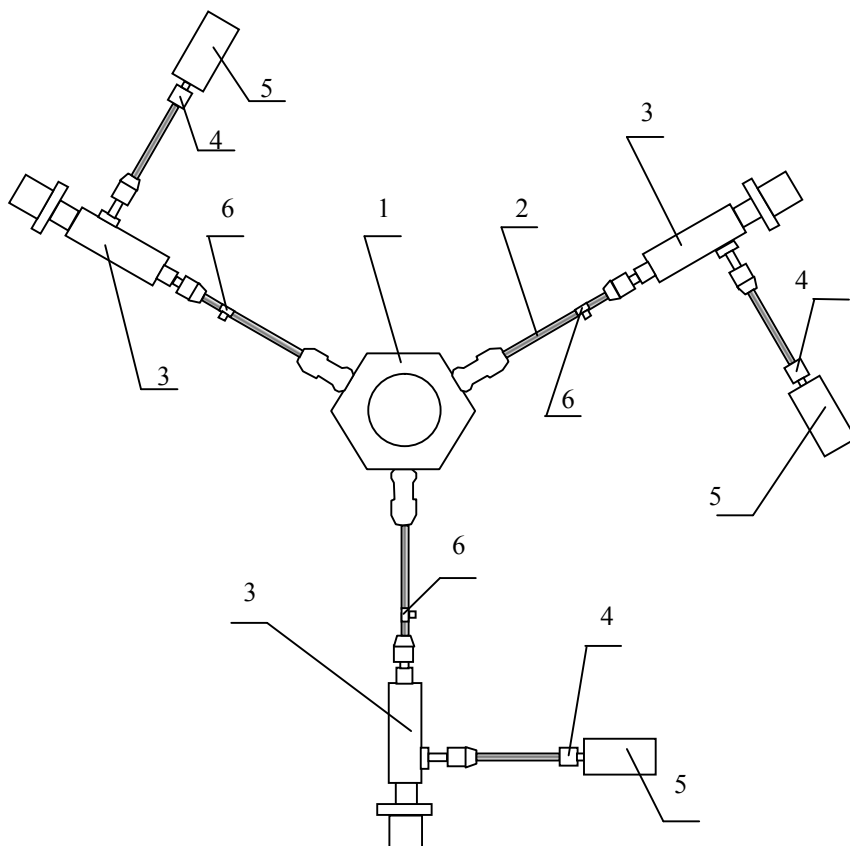


Рис. 2. Принципиальная схема системы отбора проб воздуха (СОП):
1 – диффузор, 2 – соединительный трубопровод, 3 – пробоотборник,
4 – ЭМК, 5 – вакуумируемая ёмкость (побудитель расхода), 6 – жиклёр

При изменении количества оцениваемых режимов число пробоотборников изменяется соответственно. В состав оборудования СОП входят: диффузор с воздухозаборником; соединительные трубопроводы; пробоотборники; электромагнитные клапаны; головки-тройники с жиклёрами; приборы для измерения вакуума; мерные емкости; вакуум-насос; дистанционный пульт управления. Для обеспечения точности результатов необходимо отбирать в СОП (рис. 2) не менее 20% воздуха отбираемого на нужды СКВ (имитация СКВ).

Включение СОП производится после выхода ГТД на заданный режим отбора проб и выдержки на этом режиме до получения установившейся температуры масла на входе и выходе из двигателя. Перед отбором проб воздуха кран отбора воздуха на СКВ необходимо установить в положение «Открыто». Количество полётных проб сильно ограничено, поэтому все отобранные пробы анализируются только на содержание масла.

Для оценки содержания в них продуктов разложения масла дополнительно к полётным отбираются пробы воздуха от специального стенда, имити-

рующего условия разложения масла в двигателе (рис 3).

Для подбора условий разложения масла в моделирующей установке нужно иметь следующие сведения по двигателю:

1. Марка масла.
2. Параметры воздуха на входе в ГТД (температура, давление, скорость).
3. Температура воздуха ступени компрессора ГТД, от которой на данном режиме полёта проходит отбор воздуха.
4. Давление воздуха на ступени компрессора ГТД, от которой на данном режиме полёта проходит отбор воздуха.
5. Объём ступени компрессора ГТД, от которой на данном режиме полёта проходит отбор воздуха.
6. Объём трубопровода между системой отбора воздуха (СОВ) и системой подготовки воздуха (СПВ).
7. Скорость воздуха в трубопроводе между системой отбора воздуха (СОВ) и системой подготовки воздуха (СПВ).

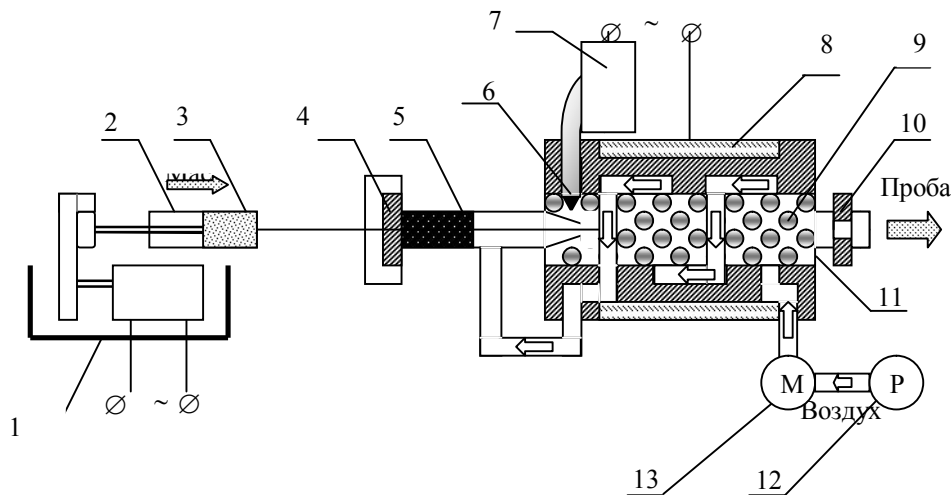


Рис. 3. Схема установки для моделирования процессов разложения масел в авиационных газотурбинных двигателях [5]:

- 1 – электропривод штока шприца-дозатора, 2 – шприц-дозатор, 3 – масло, 4 – мембрана испарителя, 5 – теплоизолятор, 6 – термодатчик, 7 – термореле, 8 – нагреватель, 9 – стальные шарики, 10 – диафрагма, 11 – камера разложения масла, 12 – воздушный компрессор, 13 – манометр

Имитация условий разложения масла в данной установке проводится путём подбора соотношений скорости прокачки воздуха и рабочего объёма камеры разложения для достижения времени нахождения масла в горячей зоне соответствующему на реальном ГТД (остальные условия разложения – температура и давление, естественно, также должны соответствовать). Отбор и анализ проб воздуха от этой установки производится как от ГТД согласно МУ1.1.258-99.

В качестве примера рассмотрим возможность

применения данной методики для среднемагистрального самолёта Мс-21 при прогнозировании загрязнения кабины на взлёте (максимальная вероятность загрязнения и трудности с отбором проб воздуха).

Для получения точных результатов при эксперименте на стенде для разложения масел необходимо путём расчётов установить время нахождения масла в зоне с рабочей температурой $\sim 500^\circ$ (5 ступень компрессора двигателя и трубопровод соединяющий систему отбора воздуха и систему подготовки воздуха).

Условия:

Двигатель: ПД-14 (типовой).

Режим полёта: Взлёт.

Рабочая температура: 500°.

Степень увеличения давления: $h_k^* = 16,5$.

Путём предварительных (сведения о технических характеристиках двигателя могут уточняться) расчётов получено:

1. Время нахождения масла в зоне отбора воздуха от двигателя с рабочей температурой ~500° равно $\sim 2,8 \cdot 10^{-5}$ с.

2. Температура масла в трубопроводе будет равно температуре на момент отбора. Средний объём трубопровода от системы отбора воздуха до системы подготовки воздуха равен 0,002 м³. Для условий нормальной эксплуатации, согласно п. 831 АП-25, система вентиляции должна обеспечивать каждому лицу, находящемуся на борту, подачу свежего воздуха в объёме не менее 0,28 м³ в минуту. При данных условиях время, за которое масло пройдёт данный участок трубопровода, составляет ~0,006 с.

3. Суммируя и округляя эти значения в сторону ужесточения условий разложения получаем время нахождения масла в горячей зоне для последующего моделирования – 0,01сек при температуре 500°С и давлении 15 кг/см².

Расчёты показывают, что при рабочем объёме камеры для разложения масла в 1 мл для создания этих условий необходимо прокачивать воздух со скоростью 50 л/мин.

Установка для моделирования процессов разложения масел в авиационных газотурбинных двигателях, как предварительный макет, была создана на базе хроматографа ЛХМ-8МД (использовался испаритель хроматографа с линией регулируемого нагрева и подвода газов).

Ввод масла (0,3мкл) осуществлялся вручную в течение минуты микрошприцем фирмы Гамильтон на 1,0 мкл через охлаждаемую воздухом мембрану из силиконовой резины.

В табл. 1 приведены усреднённые данные по составу воздуха, загрязнённого продуктами терморазложения масла ИПМ-10 при температуре 500°С с содержанием масла в них около 5,0 мг/м³ (максимально загрязнение кабин современных самолётов, экспериментально зафиксированное менее чем в 1% проб воздуха).

Их можно считать максимальными для современных ЛА РФ (обычно возникают на переходных режимах работы двигателя). При снижении содержания масла соответственно будет снижаться и содержание его продуктов разложения (зависимость в интервале концентраций масла от 0,1 до 50,0 мг/м³ практически линейная).

Таблица 1

Экспериментальные данные по составу летучих продуктов термоокислительного разложения масла ИПМ-10 при температуре 500°С, давлении 15 кг/см², за 0,01 сек.

Компонент-продукт разложения масла	Концентрация в потоке воздуха, (мг/м ³)
Масло (основа)	5,0
Трикрезилфосфат	0,001
Формальдегид	0,01
Ацетальдегид	0,003
Бутаналь	0,002
Акролеин	0,01
Ацетон	0,01
Бутанон	0,02
Метанол	0,003
Этанол	0,01
Н-пентанол	0,02
Спирты C ₆ – C ₈	0,11
Фенол	0,01
Крезолы	0,02
Органические кислоты C ₂ – C ₇	0,02
Бензол	0,02
Толуол	0,04
Этилбензол	0,06
Ксилолы	0,06
Окись углерода	0,09
Двуокись углерода	0,33

Заключение

На примере материалов исследований чистоты воздуха кабин современных ЛА и результатов стендовых работ показано, что основной загрязнитель – пары и аэрозоль смазочных масел (и, в меньшей степени, их присадки) ГТД. Именно эти примеси воздуха отвечают за появление в салонах самолётов запаха «гари» и даже дыма, увеличивая риск лётных происшествий. Показано, что остальные примеси – продукты разложения масел, присутствуют в воздухе кабин в значительно меньших количествах и эти количества зависят от конкретных условий разложения масла в ГТД.

Предложена методика отбора проб воздуха ГТД на летающей лаборатории и расчётный метод с использованием специального наземного стенда, позволяющий оценивать содержание большинства примесей-продуктов разложения масел, чьё присутствие в воздухе кабин ЛА регламентировано §831 АП-25, без отбора для этого полётных проб (полётные пробы отбираются только для последующего анализа на содержание смазочного масла).

Литература

1. АП-33. *Авиационные правила. Ч. 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов [Текст]*. – М., 2012. – 12 с.

2. EASA. *Advance notice of proposed amendment [Text] // Cabin Air Quality onboard Large Aeroplanes. -(A-NPA) № 2009-10.*

3. *Global Cabin Air Quality Executive (GCAQE)*

response to EASA- COMMENTRESPONSE DOCUMENT (CRD), TO ADVANCE NOTICE OF PROPOSED AMENDMENT [Text] (A-NPA) 2009-10 // Cabin Air Quality onboard Large Aeroplanes. – July 2011.

4. МУ 1.1.258-99. *Методические указания. Двигатели газотурбинные авиационные. Порядок отбора и газохроматографического анализа проб воздуха из компрессора двигателя при стендовых испытаниях [Текст]*. – М.: НИИСУ. 1999. – 28 с.

Поступила в редакцию 14.05.2013, рассмотрена на редколлегии 12.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник В.Т. Дедеш, ОАО «ЛИИ им М.М. Громова», Жуковский, Московская область, Россия.

МЕТОДИКИ ЛЬОТНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЧИСТОТИ ПОВІТРЯ, ЯКЕ ВІДБИРАЄТЬСЯ ВІД АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ НА ПОТРЕБИ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

В.П. Могильников, О.В. Ионов

Представлено експериментальні дані щодо оцінки забруднення повітря кабін сучасних ЛА. Показано, що основний забруднювач – пари і аерозоль мастильних олій (та їх присадок) ГТД. Саме ці домішки повітря відповідають за появу в салонах літаків запаху «гару» і навіть диму, тим самим збільшуючи ризик льотних пригод. Показано, що інші домішки – продукти розкладу олій, присутні в повітрі кабін в значно менших кількостях і ці кількості залежать від конкретних умов розкладу олії в ГТД. Розроблено розрахунковий метод, який дозволяє оцінювати вміст більшості домішок-продуктів розкладу олій, чия присутність у повітрі кабін ЛА регламентовано §831 АП-25, без відбирання для цього польотних проб (польотні проби відбираються тільки для наступного аналізу на вміст мастильної олії). Метод ґрунтується на експериментально підтвердженій постійності якісного складу продуктів розкладу. Кількісний склад продуктів розкладу визначається на спеціальному стенді, який імітує процеси розкладу олії в ГТД в залежності від режимів його роботи. Розроблено спрощений варіант такого стенда на базі звичайного газового хроматографа.

Ключові слова: гранично припустимі концентрації, токсичні домішки, продукти розкладу олії, газотурбінний двигун, літальний апарат.

AIR QUALITY FLIGHT RESEARCH METHODS, BLEED AIR FROM ENGINES FOR AIRCRAFT AIR SYSTEM

V.P. Mogilnikov, A.V. Ionov

Experimental data are presented according to air pollution of cabins modern aircraft. It is displayed that the basic contaminant - steams and an aerosol of oils (and their additive compounds) of the engine. These admixtures of air are responsible for occurrence in planes cabins of a smell of "ashes" and even a smoke, augmenting risk of flight incidents. It is showed that other admixtures - products of breaking-up of oil, are present at air of cabins in much smaller amounts and these amounts depend on concrete conditions of breaking-up of oil in engine. The settlement method is developed, allowing to evaluate the contents of the majority of admixtures-products of breaking-up of oils, whose presence at air of cabins modern aircrafts is regulated §831 АП-25, without flight samples (flight samples are selected for the analysis on the oil maintenance). The method is grounded on experimentally affirmed persistence of qualitative composition of products of breaking-up. The quantitative composition of products of breaking-up is defined at the special stand imitating processes of breaking-up of oil in engine depending on conditions of its operation. The simplified variant of such stand was developed on the basis of usual gas chromatograph.

Key words: maximum permissible concentration, toxic contaminants, products of breaking-up of oil, engine, aircraft.

Могильников Валерий Павлович – начальник сектора 35-2 ОАО «ЛИИ им.М.М. Громова», e-mail: mogver@mail.ru.

Ионов Алексей Владимирович – инженер ОАО «ЛИИ им.М.М. Громова» e-mail: syzhet@mail.ru.