

УДК 621.452.3:62-521.017

**В.П. МОГИЛЬНИКОВ, А.В. ИОНОВ***Открытое акционерное общество «Лётно-исследовательский институт им. М.М. Громова», Жуковский, Московская область, Россия*

## АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ ВОЗДУХА АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Проанализирована номенклатура и величины предельно допустимых концентраций (ПДК) токсичных примесей в воздухе кабин летательных аппаратов (ЛА) и воздухе, отбираемом от газотурбинных двигателей (ГТД), а также методы их измерений. В отличие от норм европейской ассоциации двигателестроителей (SAE) предложено для отбора и анализа проб воздуха ГТД использовать методику МУ 1.1.258-99 с отбором пробы воздуха непосредственно от фланца двигателя и последующим газохроматографическим анализом. Проанализированы систематические и случайные погрешности, возникающие при анализе концентраций токсичных примесей в воздухе, отбираемом от газотурбинных двигателей для наддува кабин летательных аппаратов. Предложены способы снижения погрешностей отбора и анализа проб воздуха авиационных ГТД за счёт специальной подготовки пробоотборников, и изменения их конструкции. Показана эффективность предложенных технических решений.*

**Ключевые слова:** предельно допустимые концентрации, токсичные примеси, 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). Сложная смесь, содержащая пары и аэрозоли смазочного масла, пары алифатических углеводородов, акролеина, формальдегида, фенола, крезолов, уксусной кислоты, бензола, трикрезилфосфата и диоктилсебацата, алифатических спиртов, ацетона, толуола, ксилолов, окиси и двуокиси азота, окиси и двуокиси углерода, поступает из системы кондиционирования воздуха (СКВ) в кабину ЛА.

При этом, если при разложении минеральных масел (в настоящее время в авиации практически не применяются) образуются в основном малотоксичные углеводороды, то при разложении синтетических масел (масла на основе сложных эфиров) образуется целый комплекс токсичных соединений, которые при попадании в воздух кабин ЛА могут провоцировать появление в полёте нештатных или аварийных ситуаций (аэротоксический синдром). Качественный и количественный состав этих примесей воздуха, отбираемого от ГТД на нужды СКВ ЛА необходимо оценить до начала лётных испытаний ещё на этапе стендовых испытаний ГТД. Существенным условием, влияющим на зачетность результатов необходимых испытаний по оценке чистоты

воздуха, является использование приемлемых методов отбора и анализа проб воздуха и соответствующего оборудования. Следует также обеспечить корреляцию применяемых методов и средств при испытаниях двигателя, с теми, которые будут использоваться при проведении лётных испытаний самолета для подтверждения выполнения требований п.831 АП-25 .

В статье представлены материалы по номенклатуре и методам оценки содержания токсичных примесей в воздухе, отбираемом от авиационных ГТД. Предложены методы снижения возникающих при отборе и анализе проб воздуха погрешностей.

### 1. Чистота воздуха отбираемого от ГТД современных ЛА

Чистота воздуха, отбираемая от авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) на нужды систем кондиционирования воздуха (СКВ) летательных аппаратов (ЛА) в соответствии с п.66 АП-33 должна быть оценена в ходе сертификационных испытаний. В редакции АП это записано таким образом: (а\*) Характеристики отбираемого от компрессора воздуха, максимально возможное загрязнение отбираемого от компрессора воздуха при нормальных условиях и наличии неисправности, максимальные эксплуатационные поперечные и осевые нагрузки и моменты, которые могут быть приложены к местам присоединения трубопроводов системы отбора воз-

духа, должны быть указаны в Документации по установке и эксплуатации двигателя. Кроме того, в главе 75 АП-33 есть раздел, который определяет состав нормируемых примесей ГТД и их ПДК (недопустимая концентрация токсичных продуктов в отбираемом от двигателя воздухе, предназначенном для кабины, в соответствии с требованиями 25.831 АП-25, 23.831 АП-23, 27.831 АП-27, 29.831 АП-29 рассматривается как отказ двигателя) [1]. Особенности подхода к нормированию ПДК вредных примесей в воздухе, подаваемом в кабину от компрессора двигателя, в разных нормативных документах показаны в таблице 1.

Очевидны существенные различия в подходе к нормированию ПДК вредных примесей в указанных нормативных документах. Зарубежные нормативные документы не включают требований по содержанию в воздухе смазочных масел – основной токсичной примеси воздуха, отбираемого от двигателя для надува кабин. Вместе с тем, в новой редакции SAE ARP4418 (2008г.) появились ПДК для ряда веществ, абсолютно нехарактерных для продуктов разложения масел (см. табл. 1). Они малотоксичны и обнаруживаются в воздухе, отбираемом от двигателя, на уровне следов и только при аварийном впрыске масла в компрессор (разрушение опоры), когда концентрации масла в воздухе превышает ПДК в сотни раз.

Особого внимания заслуживает тот факт, что требования к обеспечению чистоты воздуха, отбираемого от маршевого или вспомогательного двигателя, должны выполняться, в том числе, в случае проявления отказа или неисправности двигателя, влияющего на данную характеристику. Характерными отказами являются: разрушение или износ уплотнений полости передней опоры, выработка материала уплотнительных колец, обеспечивающих минимальный радиальный зазор лопаток компрессора.

## 2. Методы отбора проб воздуха от ГТД

Действующими документами не определены конкретные методы измерения концентраций вредных примесей в воздухе, отбираемом от компрессора для нужд вентиляции кабины. В ряде приведенных выше документов отмечается, что возможно применение любых подходящих методов анализа. Это дает определенную свободу при разработке и выборе методик исследования, однако, при этом, разумеется, должны быть обеспечены два основных условия: быстрое получение “представительной” пробы анализируемого вещества при отборе воздуха, а также метрологические характеристики методик анализа (избирательность, точность), обеспечивающие достоверность измерения.

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации вредных веществ, загрязняющих воздух, отбираемый от компрессора двигателя и подаваемый в систему надува и вентиляции кабины

№ п/п	Наименование примеси	АП-25, мг/м <sup>3</sup>	FAR-25	SAE ARP4418, ppmV	SAE ARP4418, 2008г. мг/м <sup>3</sup>
1.	Пары топлива	300	-	-	-
2.	Масла минер./синт.	5 / 2	-	-	-
3.	Двуокись углерода	0,5% об	0,5% об	400	0,2 об.%
4.	Окись углерода	1/20000	1/20000	5	17,8
5.	Формальдегид	0,5	-	0,3	1,0
6.	Акролеин	0,2	-	0,05	0,5
7.	Бензол	5	-	-	3,2
8.	Фенол	0,3	-	-	-
9.	Окислы азота	5	-	1	-
10.	Фтористый водород	-	-	1	-
11.	Механические примеси	-	-	0,5 мг/м <sup>3</sup>	5,0
12.	Органические вещества (общее содержание)	-	-	0,4	-
13.	Трикрезилфосфат	0,5	-	-	-
14.	Диоктилсебацинат	5	-	-	-
15.	Метилэтилкетон				596,5
16.	Толуол				153,0
17.	Ацетальдегид				18,0

Как уже отмечалось, разработчики двигателя используют отраслевые документы, в том числе SAE. Наиболее подробно методология исследования чистоты воздуха, отбираемого от двигателя, рассмотрена в SAE ARP 4418, в котором приведены схемы отбора проб (обогреваемый трубопровод для отвода газов в безопасную зону стенда) и рекомендуемые методы анализа содержания различных примесей:

- CO и CO<sub>2</sub> – недисперсионная ИК-спектрометрия;
- NO<sub>x</sub> – хемилюминесцентный метод;
- HF – ионообменная хроматография;
- акролеин – химический анализ со спектрофлуорометрическим окончанием;
- формальдегид – химический анализ со спектрофотометрическим окончанием;
- органические вещества – каталитическое окисление до CO<sub>2</sub> и детектирование методом ИК-спектрометрии;
- механические частицы – отбор на фильтр с гравиметрическим окончанием.

К сожалению, эта информация не является исчерпывающей. Нет данных об осаждении примесей в воздухопроводах при отборе, а этот эффект весьма существенен для высококипящих соединений. Практика показывает, что до пробоотборников при такой схеме отбора доходит лишь незначительная часть лёгких углеводородов и весь последующий анализ делается совершенно бессмысленным.

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), разработанные ММП им. В.В.Чернышева, ЛИИ им. М.М.Громова, ЦИАМ и НИИСУ. Документ аттестован в Госстандарте России как методика выполнения измерений (МВИ) за №62-99. При проведении сертификационных испытаний двигателя SaM 146 была проведена валидация данного документа в европейскую систему сертификации двигателей Safran по нормативам SAE. В настоящее время МУ внедрены или внедряются на большинстве авиационных двигателестроительных предприятиях и КБ РФ и стран СНГ.

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). 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 жиклёра-

ми; приборы для измерения вакуума; мерные емкости; вакуум-насос; дистанционный пульт управления. Возможно использование нескольких СОП.

СОП для оценки влияния фона не имеет диффузора, при этом пробы отбираются от гребёнки – воздухозаборника, сориентированного навстречу движения воздуха.

При отборе проб диффузор с воздухозаборником (рис. 3), подсоединяемый к патрубку отбора воздуха от двигателя в СКВ, формирует поток воздуха и обеспечивает его расход через три головки-тройника с жиклёром. Проходное сечение диффузора в 1,5 - 3 раза больше, чем сечение трубопровода линии отбора проб. На выходной штуцер диффузора устанавливается гайка с жиклером, имеющим проходное сечение на 30-60 % меньшее, чем максимальное проходное сечение заслонки, имитирующей СКВ по расходу воздуха через эту систему.

Воздух от двигателя поступает через трубопровод (металлорукав) длиной не более 3 м, подсоединенный одним концом к патрубку отбора, а другим – к входному штуцеру диффузора. Далее поток воздуха через воздухозаборник, расположенный в центре диффузора, направляется в три стойки головок и распределяется по соединительным трубопроводам к пробоотборникам (рис. 4). Подсоединение трубопроводов производится к штуцерам на головках диффузора (выходные патрубки) и штуцерам на корпусах пробоотборников. Размеры трубопроводов здесь должны быть минимальны (10-20 см).

Пробоотборники герметично соединены с трубопроводами ЭМК, которые, в свою очередь, соединяются с мерными вакуумируемыми ёмкостями посредством коллекторов. Количество устанавливаемых пробоотборников зависит от количества режимов испытаний двигателя, на которых необходимо делать отборы проб, а также от перечня контролируемых токсичных примесей. На каждом режиме должно быть отобрано не менее 3-х проб (при анализе пробы на несколько компонентов).

Пробоотборники снабжаются концентраторами с сорбентом для поглощения паров и аэрозолей органических соединений. Мерные вакуумируемые ёмкости, используемые для отбора проб, выполняются объемом от 500 до 1000 см<sup>3</sup>. Измерения давления и температуры в емкостях до и после отбора проб осуществляются с помощью специальных датчиков. К каждой емкости посредством трубопроводов подсоединен электромагнитный клапан б, который через коллектор соединен с вакуум-насосом. Включение системы отбора проб воздуха осуществляется от пульта управления, расположенного в кабине наблюдения испытательного стенда.

Конструкция пробоотборника представлена на рис. 4.

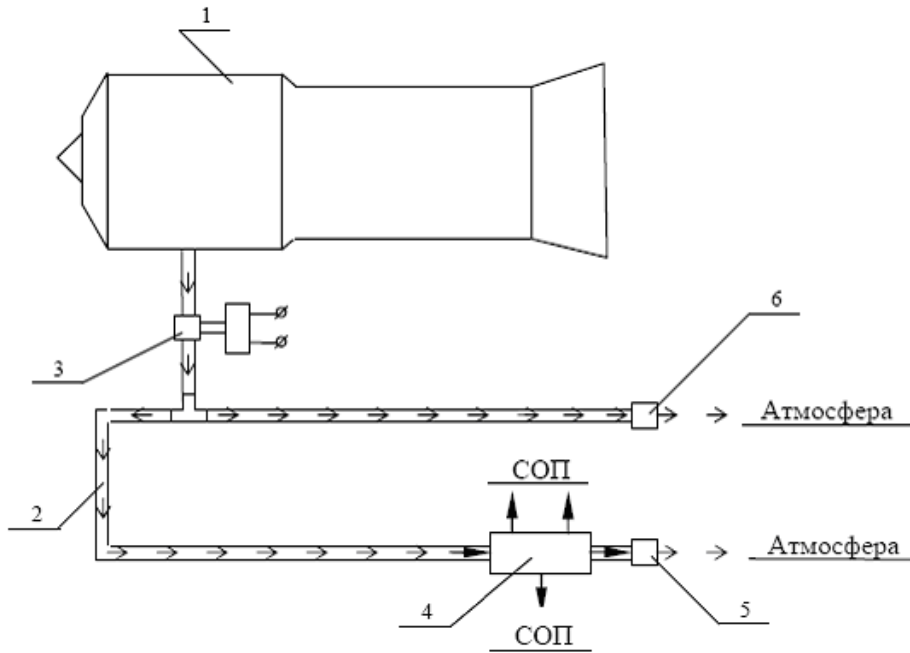


Рис. 1. Монтажная схема присоединения СОП к двигателю:  
1 – ГТД, 2 – трубопроводы, 3 – кран-заслонка, 4 – диффузор, 5 и 6 – жиклёры

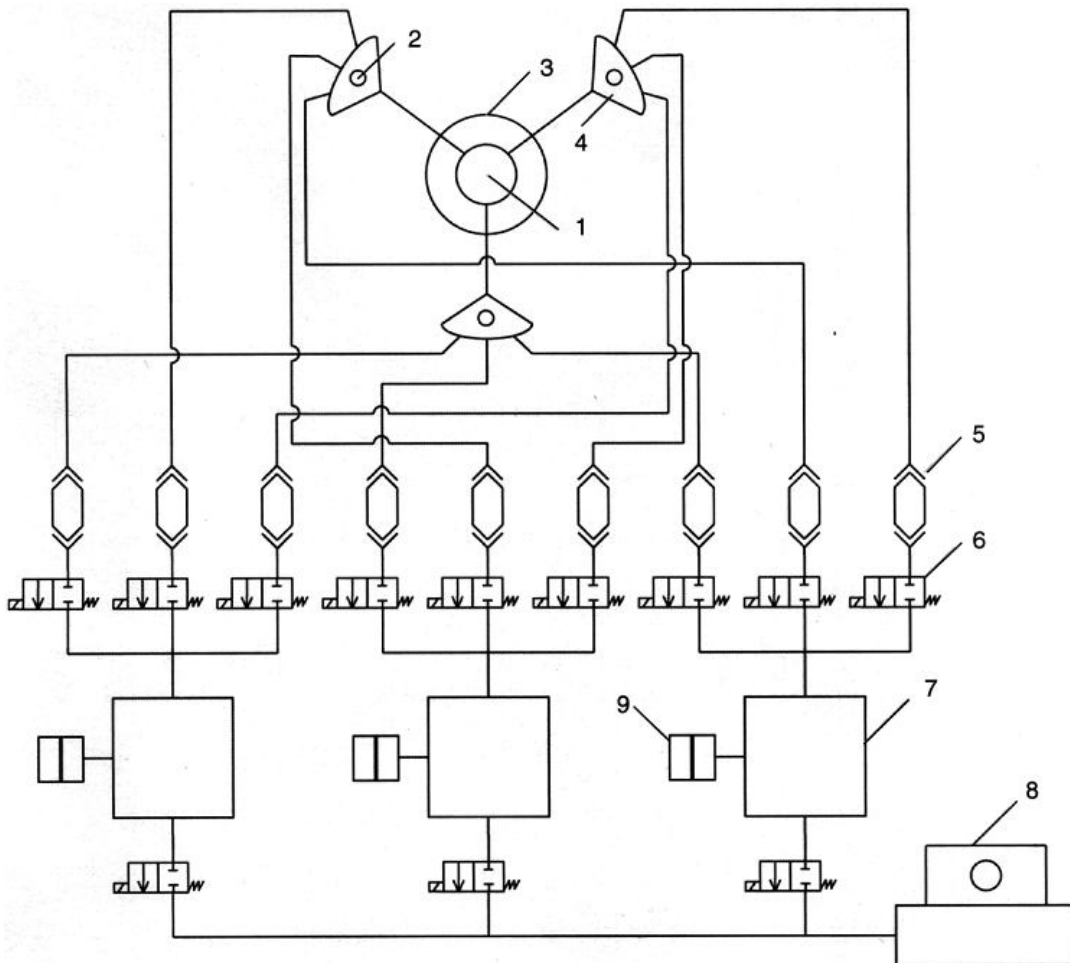


Рис. 2. Принципиальная схема СОП:  
1 – воздухозаборник диффузора, 2 – жиклёр, 3 – диффузор, 4 – головка-тройник,  
5 – пробоотборники с концентраторами, 6 – ЭМК, 7 – мерные вакуумируемые ёмкости (побудители расхода), 8 – вакуумный насос, 9 - датчик разряжения

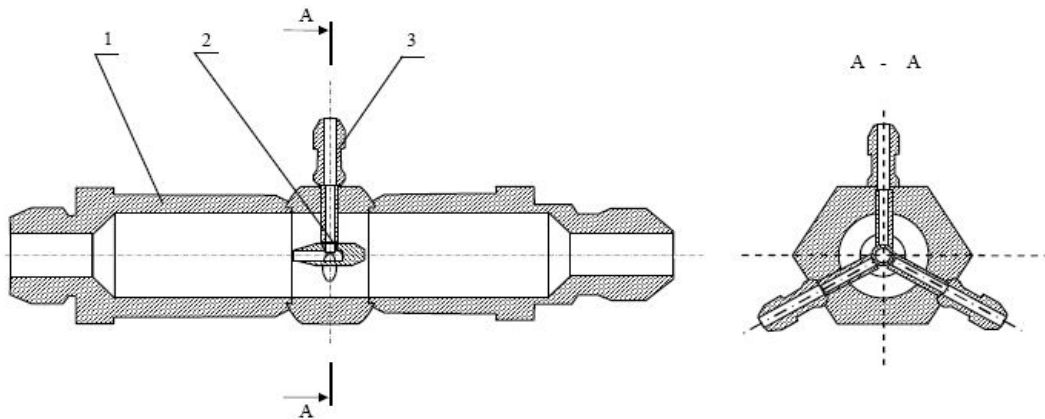


Рис. 3. Диффузор:  
1 – корпус, 2 – воздухозаборник, 3 – выходной патрубок

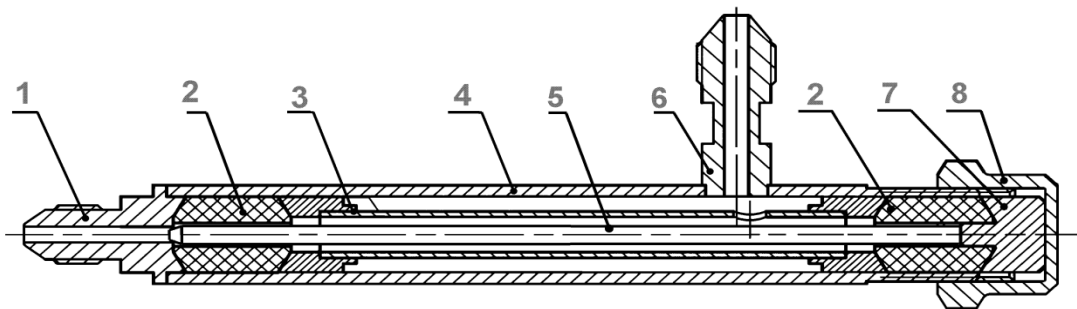


Рис. 4. Пробоотборник:  
1 – входной штуцер; 2 – резиновые втулки; 3 – экран; 4 – корпус; 5 – концентратор;  
6 – выходной штуцер; 7 – упор; 8 – гайка

### 3. Погрешности измерения концентрации примесей в воздухе, отбираемом от ГТД

В приложении «Ц» к МУ подробно описана методика расчёта погрешностей отбора и анализа проб воздуха ГТД. Практика испытаний ГТД показала, что необходимо существенно изменить не только процедуры отбора и анализа проб, но и расчёты возникающих при этом погрешностей. Для снижения погрешностей должны быть изменены некоторые узлы системы отбора проб (СОП) и сами процедуры отбора и анализа. Суммарная предельная относительная погрешность измерения концентраций вредных примесей в отбираемых из компрессора ГТД пробах воздуха складывается из суммы неисключенных систематических погрешностей и

случайных погрешностей. При этом должны быть учтены погрешности, возникающие как на этапе отбора проб (связанные с количественным определением объемов воздуха, пропущенных через пробоотборники, и полноты адсорбции вредных примесей в концентраторах), так и на этапе анализа проб (погрешности хроматографов и применяемого дополнительного оборудования).

Суммарная предельная относительная погрешность измерения концентраций вредных примесей при контроле чистоты воздуха согласно ГОСТ 12.1.005-88 не должна быть более 25%, но зачастую превышает это значение. Суммарная предельная относительная погрешность ( $\delta_c$ ) измерения концентраций вредных примесей (паров топлива, паров масла, альдегидов и ароматических углеводородов) в пробах воздуха определяется по формуле:

$$\delta_c = K \sqrt{\frac{\delta_{\text{шп}}^2 + \delta_{\text{ар}}^2 + \delta_T^2 + \delta_K^2 + 2\delta_{\text{СК}}^2 + \delta_{\text{пр}}^2 + \delta_{\text{хр}}^2 + (\delta_{\text{Вакт.пр}}^2)^2}{3}} + (\delta_{\text{отн. Si}}^2)^2 + \delta_x^2, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент ( $K = 1,1$  при доверительной вероятности  $P = 0,95$ ),

$\delta_{\text{шп}}$  – относительная погрешность дозирования микрошприцем калибровочного раствора,

$\delta_{\text{ар}}$  – относительная погрешность определения плотности калибровочного раствора,

$\delta_{\text{T}}$  – относительная погрешность определения температуры калибровочного раствора,

$\delta_{\text{к}}$  – относительная погрешность, обусловленная равной чувствительностью детектора хроматографа к разным веществам,

$\delta_{\text{СК}}$  – относительная погрешность измерения площадей пиков на хроматограммах при градуировке хроматографов,

$\delta_{\text{пр}}$  – относительная погрешность, обусловленная явлением проскока или уноса вредных примесей из концентратора при отборе проб,

$\delta_{\text{хр}}$  – относительная погрешность, обусловленная сохранностью отобранной пробы,

$\delta_{\text{Vакт.пр.}}$  – суммарная относительная погрешность измерения приведенного активного объема СОП при отборе проб воздуха,

$\delta_{\text{отн.Сi}}$  – случайная составляющая относительной погрешности измерения площади хроматографического пика при проведении градуировки хроматографа,

$\delta_{\text{x}}$  – случайная составляющая относительной погрешности измерения площади хроматографического пика при проведении анализа проб воздуха.

В МУ приведены формулы расчёта всех этих составляющих. Практика показала, что некоторые из них можно существенно упростить, а на другие обратить повышенное внимание. Поэтому более подробно по пунктам рассмотрим отдельные составляющие суммарной предельной относительной погрешности.

1.  $\delta_{\text{шп}}$  – обычно имеет паспортное значение 2%. Тонкость заключается в том, что это паспортное значение можно применять только, если дозировать объем равный максимальному для данного типа шприца. Так шприц на 1 мкл паспортизирован на 2% погрешность при дозировании только 1 мкл. При попытке дозирования промежуточных объёмов (хотя они есть на шкале шприца) возникает неопределённая погрешность существенно больше паспортной величины.

2.  $\delta_{\text{ар}}$  и  $\delta_{\text{T}}$  – зависят от класса точности приборов измерения и определяются по формулам, изложенным в МУ.

3.  $\delta_{\text{к}}$  – сильно зависит от состава измеряемого компонента примеси. Относительная погрешность в 5%, которую предлагает ввести МУ может быть превышена для альдегидов (формальдегид, акролеин) и фенола. Единственный способ избежать существенной систематической погрешности и свести её

к случайной – вести калибровку хроматографа по растворам чистых веществ (каждый компонент отдельно). Необходимо проводить градуировку хроматографов по всем компонентам разбавленными растворами в подходящих растворителях (акролеин и формальдегид – вода, бензол и толуол – метанол).

Для градуировки используются средние значения площадей пиков из 5 измерений по каждому компоненту. Градуировки по всем компонентам проводят 1 раз в год или чаще, если отклик по бензолу (площадь пика, полученная при анализе раствора бензола на колонке 1 – калибровка хроматографа по бензолу) меняется более чем на 5%. Последнюю процедуру проводят ежемесячно или перед анализом каждой большой серии проб воздуха. Градуировку по формальдегиду проводят перед анализом каждой серии проб, добиваясь стабильности значений площадей пиков формальдегида.

4.  $\delta_{\text{СК}}$ ,  $\delta_{\text{отн.Сi}}$  и  $\delta_{\text{x}}$  – зависят от класса точности приборов измерения и навыков оператора хроматографа. Они определяются по формулам, изложенным в МУ.

5.  $\delta_{\text{пр}}$  – зависит от длины слоя адсорбента (мелонированный силохром) в концентраторе, его температуры и состава адсорбата. Сама формула расчёта приведена в МУ, но, очевидно, при расчёте следует учитывать и изменение состава пробы до концентратора (оседание компонентов пробы в трубопроводах). Оценить вклад этой погрешности весьма сложно. Можно только минимализировать её величину. Для этого температура воздуха до входа в концентратор не должна быть более чем на 50°C ниже, чем температура отбираемого от ГТД воздуха. Между тем в МУ рекомендовано так поддерживать соотношение расходов воздуха в байпасных линиях СОП, чтобы температура на входе в концентратор не превышала 100°C. Из рис. 4 видно, что горячий воздух может перегревать резиновую муфту, что приведёт к появлению в пробе посторонних примесей – продуктов разложения резины. Поэтому данная конструкция и работоспособна только до температур не более 100°C (проверено экспериментально). Вместо этой конструкции предлагается следующая схема пробоотборника (рис. 5).

В пробоотборнике, изображённом на рис. 5, горячий воздух практически не контактирует с мембраной 4, которая сама сделана из мягкой силиконовой термостойкой резины для газовой хроматографии, да и площадь её контакта с концентратором невелика, что также уменьшает фон пробоотбора. Температура воздуха на входе в такой пробоотборник может равняться температуре воздуха, отбираемого от ГТД без загрязнения пробы продуктами разложения резины (проверено экспериментально).

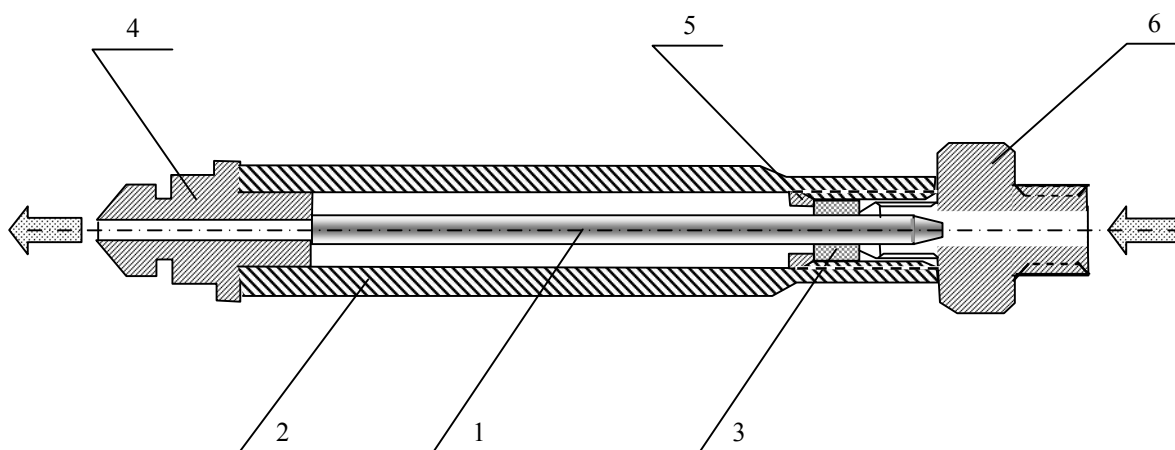


Рис. 5. Изменённая схема пробоотборника:

1 - концентратор с сорбентом, 2 – корпус, 3 – мембрана из силиконовой резины для испарителей газовых хроматографов, 4 – выходной штуцер, 5 – упор, 6 – входной штуцер - радиатор

6.  $\delta_{xp}$  – зависит не только от времени, но и от условий хранения пробы. При длительном хранении лучше отказаться от совместного хранения концентраторов с капсулами активированного угля (эскизы таких контейнеров приведены в МУ). При таком способе хранения летучие компоненты проб переходят на уголь или при его отсутствии распределяются между пробоотборниками. Не рекомендуется и оставлять концентраторы собранными в пробоотборники (даже заглушенные). При таком способе хранения пробы загрязняются выделениями из резиновых муфт. В этом отношении модифицированные пробоотборники (рис. 4) более безопасны (площадь контакта с резиной значительно меньше, что уменьшает фоновое загрязнение концентраторов). Для хранения проб более 3 суток с минимальными потерями рекомендуется сразу после эксперимента извлечь пронумерованные концентраторы из пробоотборников и поместить их в завинчивающиеся пеналы-контейнеры из тефлона или стекла с тефлоновой прокладкой в колпачке-крышке. Практика показала (анализ проб воздуха с одинаковыми концентрациями после разного времени их хранения), что такой способ позволяет хранить пробы без изменения их состава несколько недель. Значение погрешности при этом укладывается в величину случайной погрешности для анализа серии проб, т.е. вклад хранения минимален.

7.  $\delta_{v_{акт.пр.}}$  – очень важный параметр. Погрешность, возникающая при расчёте приведённого объёма пробы напрямую влияет на результаты анализа. Тем не менее в МУ приведена сложная схема измерения самих активных объёмов СОП (используется сложное пневматическое устройство, что увеличивает суммарную погрешность). Практика показала, что для расчёта исходных объёмов достаточно при-

менить обычный метод взвешивания (все поверхности должны быть обезжирены) пустых и заполненных водой узлов. По разности их весов с учётом плотности воды при данной температуре рассчитывают объёмы этих узлов. Погрешность определения объёмов будет равна здесь корню из суммы квадратов случайной погрешности серии измерений объёмов и погрешности измерения весов (определяется классом весов). Статистические расчёты далее выполняются согласно МУ.

8.  $\delta_{отн.Si}$  и  $\delta_x$  – случайные составляющая относительной погрешности измерения площади хроматографического пика при проведении градуировки хроматографа и при проведении анализа. Они легко рассчитываются по формулам, приведённым в МУ (стандартное вычисление СКО и относительной погрешности для серии проб). Следует отметить, что вторую составляющую экспериментально оценить очень сложно (нужно иметь калибровочное устройство для дозирования примесей). Если анализ и калибровку проводят в одинаковых условиях, то эти величины можно принять равными и рассчитывать только  $\delta_{отн.Si}$ . При этом для приближения эксперимента к реальным условиям калибровку следует производить разбавленными растворами адсорбатов, как это описывалось ранее в п.3, концентраторы собирать в пробоотборники, производить прокачку 1 л воздуха, далее разбирать и выполнять анализ (имитация пробоотбора). Это позволяет свести фоновое загрязнение пробы к случайной погрешности и оценить, как величину, входящую в  $\delta_{отн.Si}$ .

### Заключение

Проведён анализ номенклатуры и величин предельно допустимых концентраций (ПДК) токсичных

примесей в воздухе кабин летательных аппаратов (ЛА) и воздухе, отбираемом от газотурбинных двигателей (ГТД), и методов их измерений. Предложено для отбора и анализа проб воздуха ГТД использовать методику МУ 1.1.258-99 с отбором пробы воздуха непосредственно от фланца двигателя и последующим газохроматографическим анализом.

Рассмотрена возможность некоторых технических усовершенствований в процедуры отбора и анализа проб воздуха, отбираемого от авиационных ГТД с целью существенного снижения суммарной погрешности оценки загрязнённости воздуха.

## Литература

1. АП-33. *Авиационные правила. Ч. 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов [Текст].* - 2012. - 52 с.

2. 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. - 38 с.

*Поступила в редакцию 13.05.2013, рассмотрена на редколлегии 13.06.2013*

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

## АПАРАТНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ВІДБИРАННЯ ПРОБ ПОВІТРЯ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

*В.П. Могильников, О.В. Іонов*

Проаналізовано номенклатуру та величини гранично припустимих концентрацій (ГПК) токсичних домішок у повітрі кабін літальних апаратів (ЛА) і повітрі, яке відбирається від газотурбінних двигунів (ГТД), а також методи їх вимірювання. На відміну від норм європейської асоціації двигунобудівників (SAE) запропоновано для відбирання і аналізу проб повітря ГТД використовувати методику МУ 1.1.258-99 із відбиранням проби повітря безпосередньо від фланця двигуна та наступним газохроматографічним аналізом. Проаналізовано систематичні та випадкові похибки, які виникають при аналізі концентрацій токсичних домішок у повітрі, яке відбирається від газотурбінних двигунів для наддування кабін літальних апаратів. Запропоновано засоби зниження похибок відбирання і аналізу проб повітря авіаційних ГТД за рахунок спеціальної підготовки пробовідбірників і зміни їх конструкції. Показано ефективність запропонованих технічних рішень.

**Ключові слова:** гранично припустимі концентрації, токсичні домішки, газотурбінний двигун, літальний апарат.

## EQUIPMENT FOR AIR SAMPLING FROM ENGINE

*V.P. Mogilnikov, A.V. Ionov*

Analyzed the nomenclature and magnitude of the maximum permissible concentration of toxic contaminants in the air cabin aircraft and the bleed air from engine, and methods for their measurement. Unlike norms of the Society of Automotive Engineers (SAE) proposed for the sampling and analysis of air samples to use GTD methodology MU 1.1.258-99 with air sampling directly from the motor flange and the subsequent gas chromatographic analysis. Analyzed the systematic and random errors arising in the analysis of the concentrations of toxic contaminants in the air taken from the engines for aircraft cabin pressurization. The methods for reducing the errors of sampling and analysis of air engines due to the special training of samplers, and changes in their structure. The effectiveness of the proposed technical solutions.

**Key words:** maximum permissible concentrations, toxic contaminants, engine, aircraft.

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

**Іонов Алексей Владимирович** – инженер ОАО «ЛИИ им.М.М.Громова», Жуковский, Московская область, Россия, e-mail: syzhet@mail.ru.