

УДК 534.2:629.7

## ОПЫТ БОРЬБЫ С ШУМОМ В ПАССАЖИРСКОМ САЛОНЕ САМОЛЕТА ТУ-204 С VIP КОМПОНОВКОЙ

© 2018 М.С. Танонин, С.В. Костромитинов

Ульяновский филиал ПАО «Туполев» – конструкторское бюро

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

В статье рассматривается опыт по снижению шума в салоне пассажирского самолета, на примере самолета Ту-204 с VIP компоновкой. Представлены результаты измерений уровней звукового давления в салонах самолета, как на земле, так и в полете. Дана оценка представленным результатам. Определен основной источник шума – система кондиционирования воздуха самолета и сформулированы мероприятия по снижению шума от ее работы. Приведена экспериментальная оценка от внедрения мероприятий и сделан вывод об их эффективности.

*Ключевые слова:* акустический комфорт, пассажирский салон, шум, система кондиционирования воздуха, мероприятия по снижению шума.

### ВВЕДЕНИЕ

Административные самолеты (Business Jet) используются для перевозки официальных лиц государственных учреждений и коммерческих организаций по практически любым маршрутам и без официального расписания.

Салоны административного самолета, в отличие от обычного, имеют повышенную комфортность, что достигается установкой VIP интерьера, мультимедийной системы, спутниковой связи и т.д. Компоновка салонов включает: рабочие зоны для проведения совещаний, каюту главного пассажира, салоны для сопровождающих лиц, а также переднюю и заднюю сервисные зоны. Для таких самолетов используются лучшие материалы, лучшие технологии и лучшие решения.

Очевидно, что и к акустическому комфорту предъявляются повышенные требования. В салонах такого самолета должно быть тише, чем в обычном самолете. Добиться существенного снижения шума не просто, но вполне возможно. В данной статье мы расскажем о нашем опыте работ по снижению шума от работающей системы кондиционирования воздуха (СКВ) в салонах VIP варианта самолета Ту-204.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В техническом задании на разработку одного из самолетов Ту-204 с VIP компоновкой интерьера было записано требование о снижении шума от СКВ.

---

*Танонин Максим Сергеевич, инженер-конструктор бригады №10 (Системы Жизнеобеспечения).  
E-mail: maks.tanonin@mail.ru  
Костромитинов Сергей Владимирович, начальник бригады №10. E-mail: kostroma73sv@mail.ru*

Для решения поставленной задачи было необходимо понять, какой вклад в общий шумовой фон вносят элементы СКВ, выявить наиболее шумные источники и разработать мероприятия по снижению шума от них.

### НОРМЫ

Основным нормативным документом, регламентирующим максимально допустимые уровни шума в кабинах современных отечественных самолетов различных категорий и классов, а также методы его измерения, является ГОСТ 20296-2014 «Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах, кабине экипажа и методы измерения шума».

При проведении исследовательских работ можно руководствоваться требованиями ОСТ1 02551-85 «Самолеты гражданской авиации. Методы измерения уровней шума системы кондиционирования воздуха».

В соответствии с указанными нормативами шум в салонах, кабине экипажа и на рабочих местах бортпроводников нормируется системой предельных спектров (ПС) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 Гц до 8000 Гц, а также в виде уровней звука, измеренных с коррекцией А стандартного шумомера в дБА по ГОСТ 17187-81.

Нормируемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, характеризующиеся номером предельного спектра (численно равен уровню звукового давления в центральной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц) представлены в таблице 1 [2].

Регламентируемые стандартом уровни шума в кабинах для условий установившегося

**Таблица 1.** Нормируемые уровни звукового давления (дБ) в кабинах самолетов гражданской авиации

| Номер предельного спектра | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц |     |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                           | 31,5                                            | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| ПС-65                     | 99                                              | 87  | 78  | 72  | 68  | 65   | 63   | 61   | 59   |
| ПС-70                     | 103                                             | 91  | 83  | 77  | 73  | 70   | 68   | 66   | 64   |
| ПС-75                     | 107                                             | 95  | 88  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   |
| ПС-80                     | 110                                             | 99  | 92  | 87  | 83  | 80   | 78   | 76   | 74   |
| ПС-85                     | 113                                             | 103 | 96  | 91  | 88  | 85   | 83   | 81   | 79   |

**Таблица 2.** Уровни звукового давления в кабинах воздушных судов (номер ПС/уровень звука, дБА)

| Кабина и класс перевозок        |                          | Дальнемагист-<br>ральные самолеты | Средне- и<br>ближнемагист-<br>ральные самолеты | Самолеты местных<br>воздушных линий |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Салон<br>для<br>пассажи-<br>ров | Первого класса           | 70/75                             | 75/80                                          | 80/85                               |
|                                 | Туристского класса       | 75/80                             | 80/85                                          |                                     |
|                                 | Экономического<br>класса | 80/85                             |                                                |                                     |
| Рабочее место бортпроводника    |                          | 80/85                             |                                                |                                     |

крейсерского полета в зависимости от типа и назначения воздушного судна приведены в таблице №2.

### ИСТОЧНИКИ ШУМА

В общем случае основными источниками шума в салоне самолета можно считать (см. Таблицу 3) [5]:

### СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА

Звуковое поле внутри пассажирской кабины обусловлено многими источниками и существованием нескольких путей передачи шумов от каждого источника (см. таблицу 3). Основная сложность снижения шума в кабинах самолета состоит в том, что ощутимых результатов можно добиться лишь при комплексном решении

**Таблица 3.** Основные источники шума в салоне самолета

| Источник шума                                       | Частотная характеристика шума               | Характер и пути распространения шума    |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Внешний поток</b>                                |                                             |                                         |
| Турбулентный пограничный слой                       | Широкополосный                              | Воздушный, боковая поверхность фюзеляжа |
| Срывные течения                                     | –                                           | –                                       |
| Местные возмущения (антенны, надстройки)            | Сочетание широкополосного шума с дискретным | –                                       |
| <b>Силовая установка</b>                            |                                             |                                         |
| Выхлоп струи                                        | Широкополосный                              | Воздушный, боковая поверхность фюзеляжа |
| Вентилятор                                          | Дискретный                                  | –                                       |
| Вибрация ротора                                     | –                                           | Структурный, узлы подвески двигателя    |
| Вибрация крыла                                      | –                                           | Структурный, крыло                      |
| <b>Внутренние источники (бортовое оборудование)</b> |                                             |                                         |
| Вспомогательная силовая установка (ВСУ)             | Дискретный                                  | Структурный, подвеска ВСУ               |
| Система кондиционирования воздуха (СКВ)             | Сочетание широкополосного шума с дискретным | Воздушный, каналы трубопроводов         |
| Гидросистема и другие самолетные системы            | Дискретный                                  | Структурный, энергоузлы                 |

задачи, предусматривающем одновременное снижение шума от всех основных источников.

При разработке VIP варианта Ту-204 такой подход не мог быть использован, т.к. большинство штатных систем не отличались от обычного серийного самолета и их переделка не планировалась.

Применяемые в современной авиационной технике методы борьбы с шумом можно условно разделить на активные и пассивные [1].

К активным относятся методы, при которых воздействуют на механизм шумообразования того или иного источника. Так же возможно применение специальной электронной системы активного шумоподавления [3]. Но в связи с длительными сроками ее разработки, применение данного метода для Ту-204 не рассматривалось.

Среди пассивных методов, прежде всего, следует отметить рациональную компоновку шумящих агрегатов относительно пассажирской кабины. Учитывая, что расположение этих агрегатов было определено ранее еще на стадии проектирования самолета Ту-204, их перекомпоновка могла повлечь за собой неоправданно большой объем доработок, из-за чего этот метод нами не использовался.

К другим пассивным методам относятся звукоизоляция и звукопоглощение, виброизоляция и вибропоглощение.

### АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

В качестве исходных данных по акустической обстановке в пассажирском салоне само-

лета Ту-204 были взяты результаты измерений из отчета [4]. Некоторые из них приведены на рисунках 1...3.

В отчете [4] приведены следующие выводы:

1. Шум в пассажирском салоне соответствует спектру ПС-80 в полном объеме и частично спектру ПС-75 (кроме зон 12-20 шп. и 40-58 шп.).

2. Уровень шума у борта самолета больше чем в проходе.

3. Наблюдаемые дискретные составляющие совпадают по частотам с работой оборудования СКВ.

4. Шум от СКВ является определяющим в общем акустическом поле пассажирского салона.

Исходя из этих выводов и сведений из авиакомпании, было принято решение все усилия направить на снижение шума от наиболее шумных элементов СКВ.

В качестве основных предполагалось использовать методы снижения шума, связанные со звукоизоляцией и звукопоглощением, виброизоляцией и вибропоглощением.

### ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ШУМА В СКВ

СКВ – это комплекс устройств, обеспечивающий в гермокабине нормальные условия работы и жизнедеятельности экипажа и пассажиров. Воздух для СКВ отбирается от компрессора двигателя, подается в установку охлаждения, где охлаждается до нужной температуры, далее поступает в вентиляционный коллектор, из которого распределяется по трубопроводам

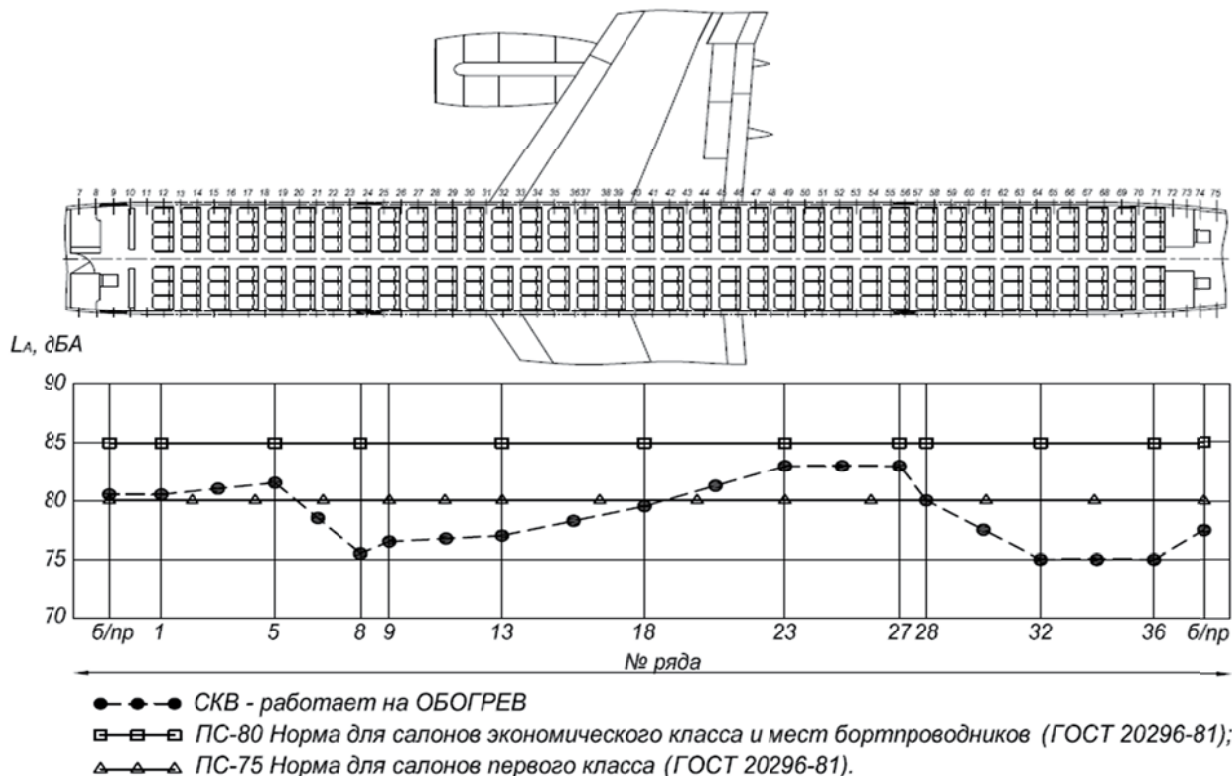
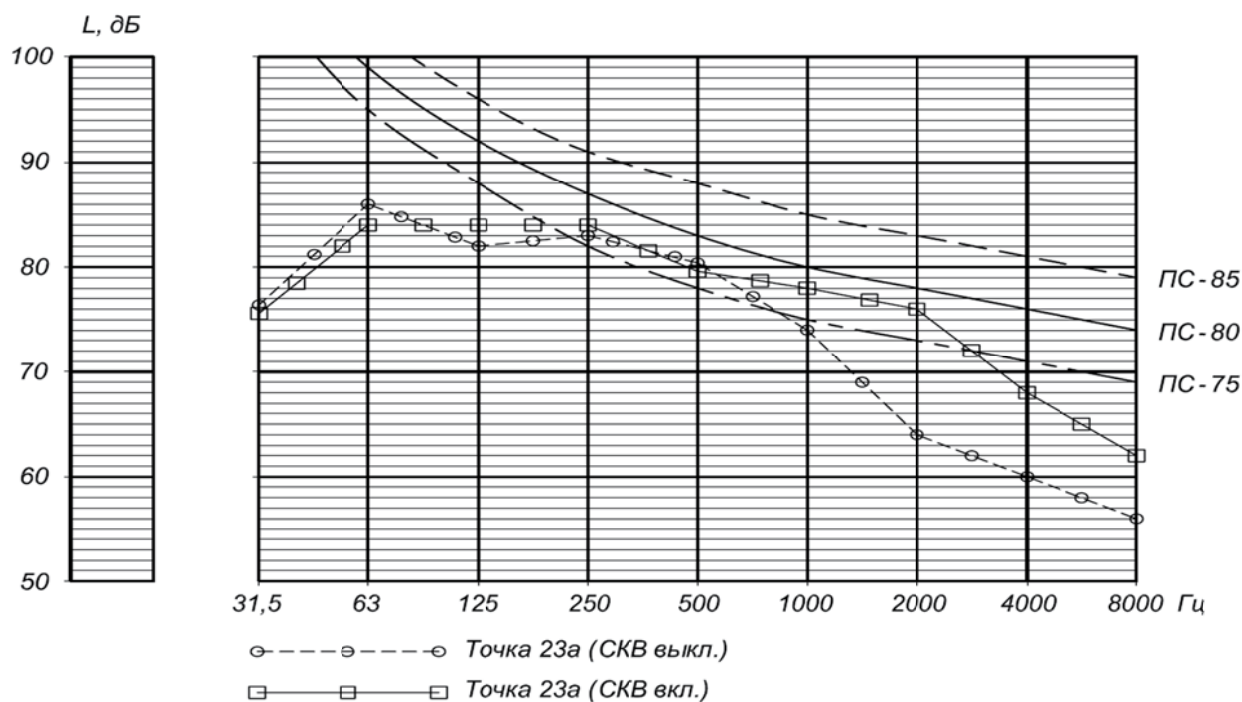
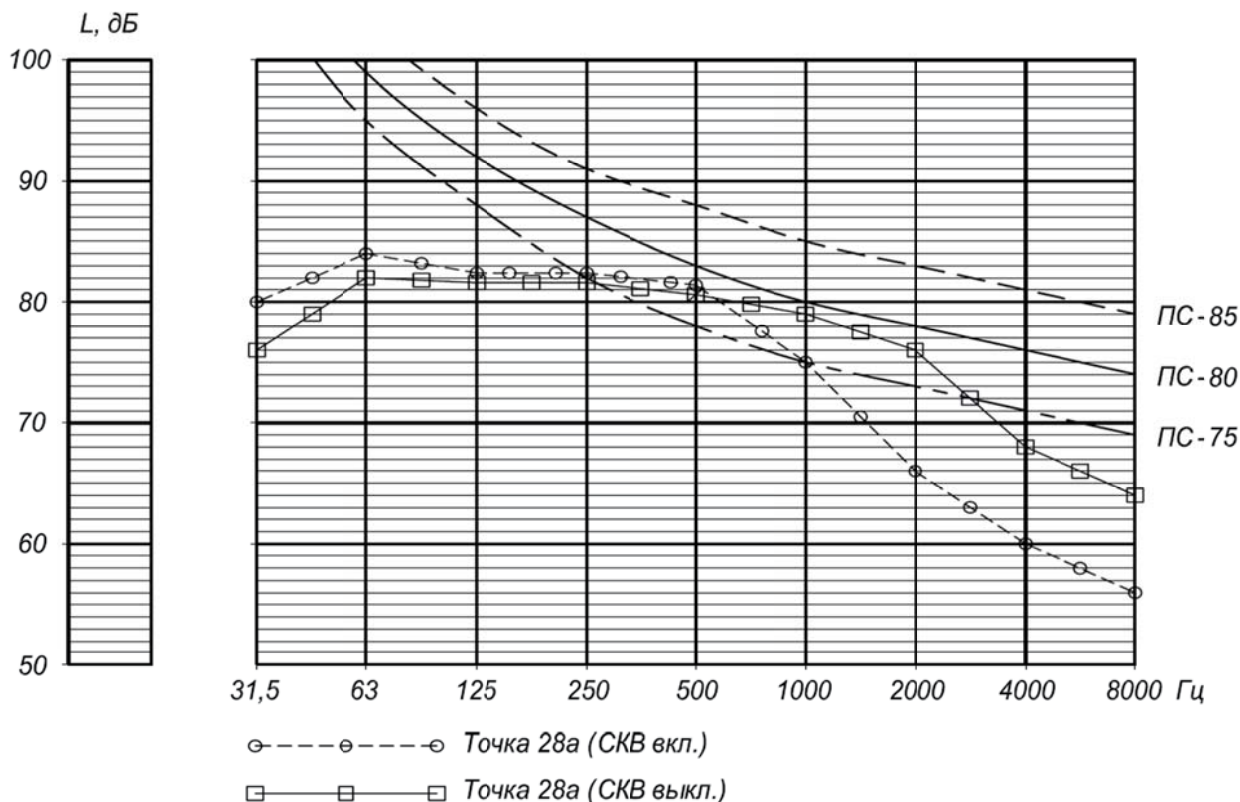


Рис. 1. Уровни звукового давления ( $L_A$ ) в пассажирском салоне самолета Ту-204 в крейсерском полете



**Рис. 2.** Уровни звукового давления в пассажирском салоне самолета Ту-204 в крейсерском полете ( $H = 10000$  м) в точке 23а с включенной и выключенной СКВ



**Рис. 3.** Уровни звукового давления в пассажирском салоне самолета Ту-204 в крейсерском полете ( $H = 10000$  м) в точке 28а с включенной и выключенной СКВ

и через вентиляционные насадки поступает в пассажирскую кабину. После обогрева (или охлаждения) кабины воздух через специальные щели перетекает в подполье, откуда через выпускные клапаны системы автоматического регулирования давления (САРД) выбрасывается из гермокабины в атмосферу.

Система охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) также относится к СКВ и предназначена для охлаждения блоков радиоэлектронного оборудования.

Основными источниками шума в СКВ являются:

- вихревые потоки при течении воздуха в агрегатах и трубопроводах;

- выпускные клапаны САРД;
- регуляторы избыточного давления;
- установки охлаждения;
- перекрывные заслонки;
- вентиляторы системы охлаждения РЭА, системы вытяжки и рециркуляции;
- коллекторы воздуха;
- фасонные элементы и прямые участки трубопроводов;
- ограничительные (дрессельные) шайбы для перераспределения потоков;
- вентиляционные насадки, решетки, жалюзи и т.д.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА

Анализ акустических характеристик основных агрегатов СКВ, их расположения и способа установки, а также проведение предварительных акустических расчетов позволило сформулировать следующие мероприятия по снижению шума в пассажирских салонах.

#### По системе вентиляции:

1. Уменьшение скоростей потоков воздуха, как в магистральных, так и в отводных трубопроводах;
  2. Применение гибких шлангов с внешней спиралью вместо шлангов с внутренней спиралью (см. рисунок 4);
- Рис. 4. Воздуховоды системы кондиционирования воздуха:
- а – шланг с внешней спиралью, б – шланг с внутренней спиралью
3. Замена ограничительных шайб с одним центральным отверстием на перфорированные

с большим количеством отверстий, т.к. такая конструкция является акустически более совершенной (см. рисунок 5);

4. Использование глушителей шума на входе в пассажирскую кабину и на входе в особо важные помещения;

5. Оклейка коллектора холодного воздуха, а также всех «стояков» из полимерных композиционных материалов вибропоглощающим материалом ВТП-1В.

#### По системе рециркуляции:

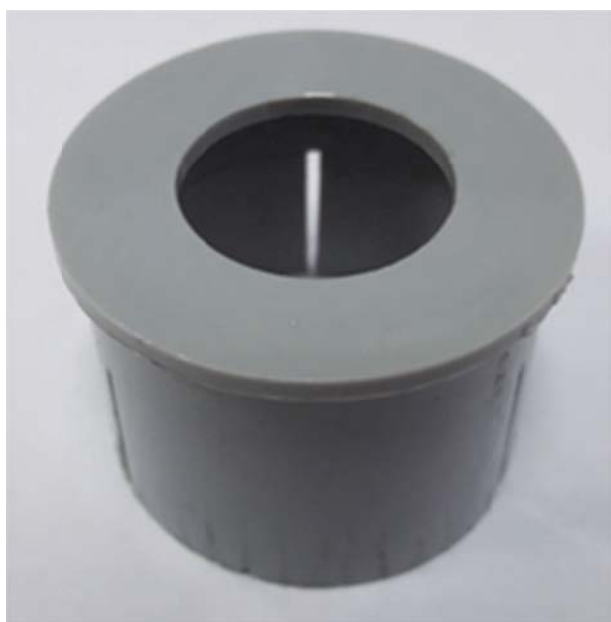
1. Применение виброизолирующей подвески вентиляторов;
2. Замена шлангов на выходе из вентиляторов на шумоглушители;
3. Применение звукоизолирующих кожухов на вентиляторы;
4. Введение в руководство по летной эксплуатации разрешения на отключение системы рециркуляции в полете при достижении в салоне установившегося температурного режима.

#### По САРД:

1. Применение звукоизолирующих кожухов на выпускные клапаны.

#### По системе охлаждения РЭА:

1. Применение звукоизолирующей подвески вентиляторов;
2. Применение звукоизолирующих кожухов на вентиляторы;
3. Установка звукозащитных экранов перед воздухозаборниками;
4. Оклейка вибропоглощающим материалом СКЛП-6020М плоских поверхностей входных и выходных коллекторов стеллажей с РЭА;
5. Оклейка вибропоглощающим материалом



а



б

**Рис. 5.** Ограничительные шайбы:

а – шайба с одним центральным отверстием, б – перфорированная шайба

ВТП-1В плоских поверхностей входных патрубков теплообменников;

6. Замена шлангов на шумоглушители.

По системе вытяжки из бытовых помещений:

1. Увеличение диаметров магистралей для снижения скорости потока воздуха;

2. Замена гибких шлангов с внутренней спиралью на шланги с внешней спиралью;

3. Применение виброизолирующей подвески вентиляторов;

4. Применение звукоизолирующих кожухов на вентиляторы;

5. Применение глушителей шума вместо шлангов на входе и выходе вентиляторов;

По каюте главного пассажира:

1. Размещение каюты главного пассажира в районе 25...35 шп. (самое тихое место);

2. Использование в материалах отделки интерьера материалов с коэффициентом звукопоглощения не ниже 0,6.

Все вышеперечисленные мероприятия должны дать ориентировочное снижение шума в салоне не менее 7...12 дБА.

Некоторые из перечисленных мероприятий удалось внедрить на серийных самолетах, но наиболее полное внедрение было осуществлено для VIP самолетов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

После частичного внедрения мероприятий на серийном самолете была выполнена оценка их эффективности, для чего проводилось измерение шума в салонах.

Результаты измерений шума в пассажирском салоне самолета Ту-204-300 в крейсерском полете приведены на рисунке 6.

Результаты измерений позволяют сделать следующие выводы:

Самая тихая зона в салоне находится в районе 25...47 шп.;

Уровень шума значительно снизился по сравнению с самолетом Ту-204, особенно в районе средней и задней части фюзеляжа, где снижение шума достигло до 7 дБА.

Обеспечено соответствие уровней шума в пассажирском салоне самолета Ту-204-300 спектру ПС-75.

На VIP самолете с внедренными мероприятиями по снижению шума измерение шума выполнялось на земле с отбором воздуха от ВСУ. Результаты измерений приведены на рисунке 7.

Для сравнительной оценки полученных данных, на рисунке 8 приведены результаты изме-

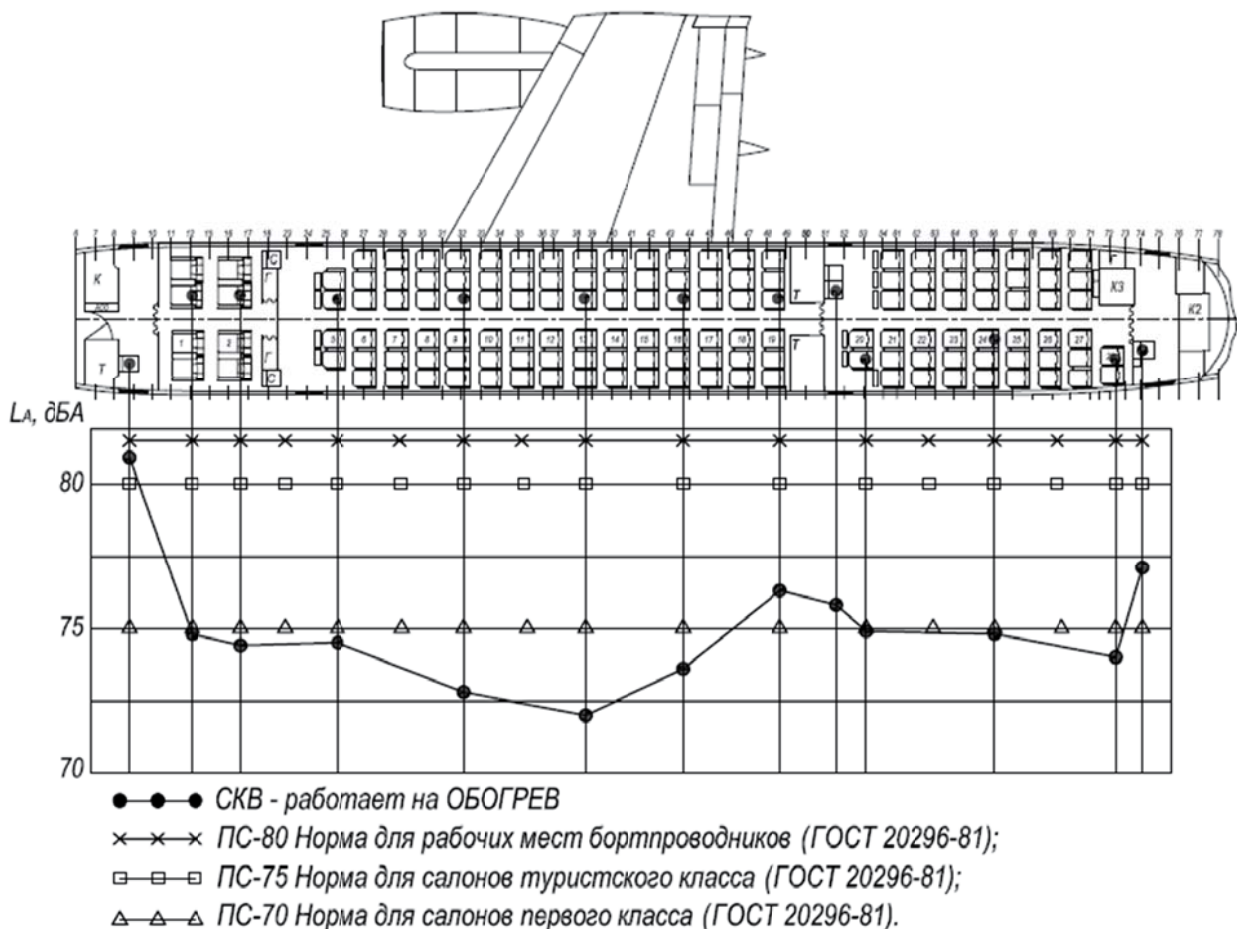


Рис. 6. Уровни звукового давления ( $L_A$ ) в пассажирском салоне самолета Ту-204-300 в крейсерском полете

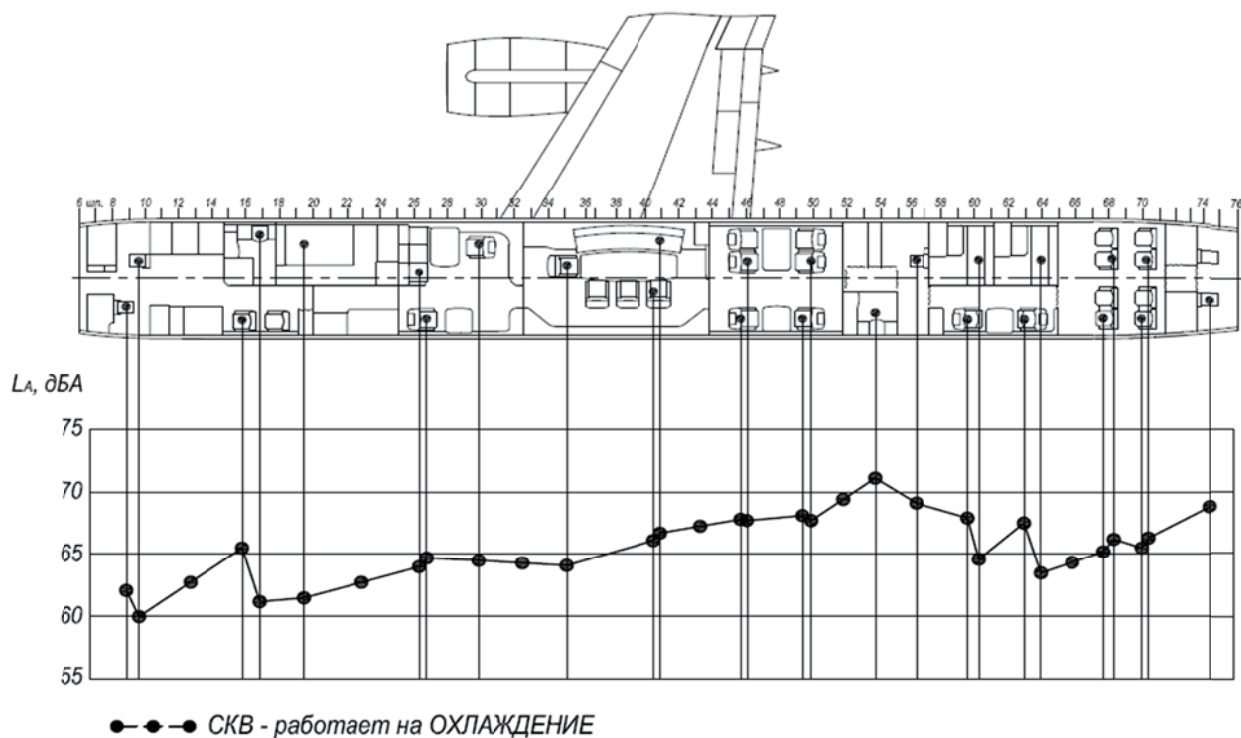


Рис. 7. Уровни звукового давления ( $L_A$ ) в пассажирском салоне самолета Ту-204 VIP на земле

рения шума на серийном самолете Ту-204-300, с частично выполненными мероприятиями по снижению шума. Условия проведения испытаний аналогичны самолету Ту-204 VIP.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Уровень шума в пассажирском салоне VIP самолета снизился на 2...5 дБА по сравнению с самолетом Ту-204-300 (серийная машина).

2. Шум в задней части салона больше чем в передней.

3. Самые тихие зоны в салоне находятся в районах кабинета главного пассажира (16...25 шп.) и рабочего места бортпроводника (10 шп., прав. борт).

4. Самая шумная зона в салоне находится в среднем туалете (52...55 шп.).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате частичной реализации разработанных мероприятий по снижению уровней

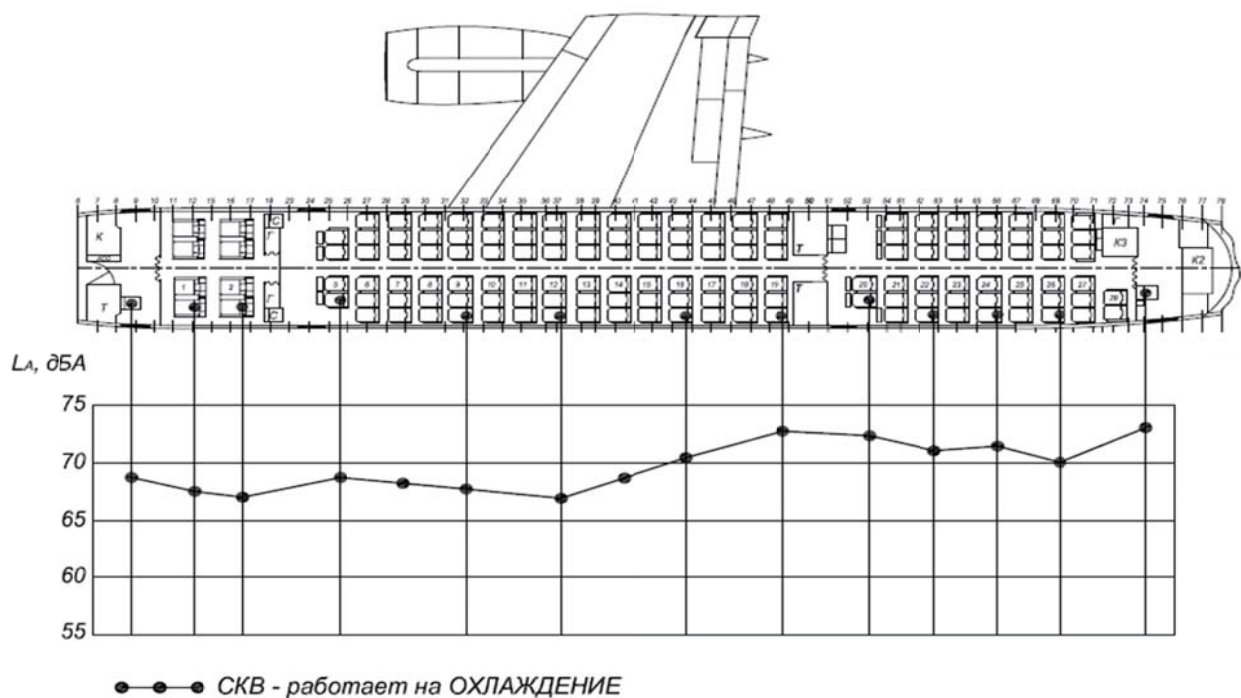


Рис. 8. Уровни звукового давления ( $L_A$ ) в пассажирском салоне самолета Ту-204-300 на земле

шума в салонах самолета Ту-204-300 удалось снизить шум на 2...7 дБА в зависимости от месторасположения по сравнению с исходным самолетом Ту-204, что говорит о достаточно высокой эффективности внедренных мероприятий. Испытания при этом проводились в полете.

Более полное внедрение мероприятий привело к тому, что шум на борту самолета Ту-204 VIP снизился на 2...5 дБА по сравнению с самолетом Ту-204-300. Испытания этих машин проводились на земле.

Полученные результаты позволяют предположить, что при испытаниях Ту-204 VIP в полете уровень шума в его салонах будет соответствовать спектру ПС-70.

Для дальнейшего снижения шума в салоне самолета требуется разработка дополнительных мероприятий, затрагивающих не только СКВ, но и другие системы, а так же элементы интерьера салонов. Например, необходимо повысить звукоизоляцию оконной панели, что позволит снизить шум у окна минимум на 2 дБА, а при увеличении коэффициента звукопоглощения облицовки интерьера, кабинета главного пасса-

жира время реверберации кабинета уменьшится, что позволит снизить шум в кабинете еще на 3...6 дБА. Все эти мероприятия позволят нам приблизиться к спектру ПС-65.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационная акустика [под ред. канд. техн. наук А.Г. Мунина и канд. техн. наук В.Е. Квитки]. М., Машиностроение, 1973. 448 с.
2. ГОСТ 20296-2014. Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах, кабине экипажа и методы измерения шума.
3. *Иванов Н.И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2016. – 424 с.
4. Итоговый отчет по расчетно-экспериментальным и научно-исследовательским работам в области акустических характеристик в ГК самолета Ту-204.
5. Проектирование авиационных систем кондиционирования воздуха: Учеб. пособие для студентов высших технических учебных заведений / *Н.В. Антонова, Л.Д. Дубровин, Е.Е. Егоров и др.*; [под ред. Ю.М. Шустрова]. М.: Машиностроение, 2006. 384 с.

#### EXPERIENCE OF FIGHT AGAINST NOISE IN PASSENGER SALON VIP TU-204 PLANE CONFIGURATION

© 2018 M.S. Tanonin, S.V. Kostromitinov

The Ulyanovsk Branch PJSC «Tupolev» – Design Office

In article experiment on noise reduction in inside of the passenger plane, on the example of the Tu-204 plane with the VIP configuration is considered. Results of measurements of levels of sound pressure in cabins, both on the earth, and in flight are presented. An assessment is given to the presented results. The main source of noise – the air conditioning system of the plane is revealed and actions for noise reduction from her work are formulated. Experimental assessment from introduction of actions is given and the conclusion is drawn on their efficiency.

**Keywords:** acoustic comfort, passenger salon, noise, air conditioning system, actions for noise reduction.

*Maxim Tanonin, Design Engineer of crew No. 10 (Life Support System). E-mail: maks.tanonin@mail.ru.*

*Sergey Kostromitinov, Chief of crew No. 10*

*E-mail: kostroma73sv@mail.ru*