

DOI: 10.18287/2409-4579-2018-4-1-16-20

УДК 534.83

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ АКУСТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ ВНУТРИ СБОРОЧНО-ЗАЩИТНОГО БЛОКА****П.А. Попов,  
А.А. Иголкин**Самарский национальный исследо-  
вательский университет имени  
академика С.П. Королева,  
Московское шоссе, 34,  
г. Самара, Российская Федерация,  
443086  
[banduir@rambler.com](mailto:banduir@rambler.com)

*На основе экспериментальных работ, проведенных в лабораториях ЦАГИ, получены необходимые параметры коэффициентов механических потерь, коэффициентов поглощения, коэффициентов распространения и звукоизоляции для углестеклоалюмопластовых образцов с нанесением на их поверхности различных звукопоглощающих материалов, которые в дальнейшем позволили снизить нагрузку на адаптируемые космические аппараты до суммарного среднеквадратического уровня акустического давления не превышающего 140,6 дБ. В работе даётся расчётная схема исследования снижения акустических нагрузок. Результаты расчётно-экспериментальных исследований были подтверждены лётно-конструкторскими испытаниями ракеты-носителя «Союз-2».*

**Ключевые слова:** Сборочно-защитный блок; космический аппарат; коэффициент механических потерь; коэффициент поглощения; коэффициент распространения; звукоизоляция

**1 Введение**

При проектировании сборочно-защитного блока (СЗБ) в силу того факта, что многие современные космические аппараты (КА) разрабатываются на акустические нагрузки по суммарному среднеквадратическому уровню акустического давления не превышающему 140 дБ, возникла необходимость решения задачи снижения акустического шума до данного значения. Анализ открытых источников показывает, что экспериментальные исследования средств снижения шума проводятся как на опытных панелях в акустических камерах [1,2], так и при натурных испытаниях [3,4]. В частности в исследованиях рассматривались вопросы снижения шума в летательных аппаратах, у которых поперечное сечение фюзеляжа близко к прямоугольному [5,6]. Наличие плоских стен бортовой конструкции позволяло исследователям проводить экспериментальную оценку и обработку различных звукоизолирующих конструкций на плоских натуральных панелях в акустических камерах. Отсутствие кривизны поверхности позволило также без серьезных технологических проработок осуществить

оценку эффективности плоских звукопоглощающих материалов (ЗПМ) на обшивке фюзеляжа [3,7]. При экспериментальных исследованиях на цилиндрических конструкциях следует учитывать кривизну отсека, возникает проблема изоляции сегментов, отстоящих от экспериментального проёма акустической камеры. В представленной работе данная проблема находит своё решение с помощью применения стеклотекстолитовых вкладышей и металлических накладок с применением матов АТМ-1 с трёхкратным поджатием, которые позволили достаточно эффективно изолировать вышеназванные сегменты цилиндрической панели СЗБ, при этом неопределенность измерений в результатах экспериментов, вызванная данным фактором, не превысила 1 дБ [8].

**2 Экспериментальные исследования**

Использование лабораторных испытаний для проверки обечайки летательного аппарата вместе с ЗПМ при накоплении статистики измерений имеет ряд преимуществ по сравнению с натурными испытаниями. Во-первых, конструкция по всей поверхности

реального объекта не всегда однородна по составу, во-вторых, не всегда возможно осуществить равномерное и однородное по пространству нагружение, в-третьих, очень трудно осуществить повторяемость условий измерений в лётных испытаниях.

Для проведения анализа увеличения звукоизоляции цилиндрической оболочки сборочно-защитного блока были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях, в рамках которых были определены спектры перепада акустического давления (звукоизоляции) для панелей оболочки СЗБ с нанесением слоёв ППУ-35 толщиной 20 мм, АТМ-1 толщиной 70 мм и без дополнительных материалов. Необлицованная звукоизоляционным материалом экспериментальная панель была выполнена из трёхслойного композиционного материала толщиной 25 мм.

Габаритные размеры экспериментальных образцов были равны 1,92 м в горизонтальном направлении и 1,26 м в поперечном направлении, а с учётом размеров стеклотекстолитовых вкладышей и металлических накладок по верхней и нижней образующей и боковых заглушек сегментов они увеличиваются соответственно до 2,19 м и 1,5 м. Для установки панелей на проёме использовалась специально сконструированная рама (платформа), которая сама закреплялась на проёме. Поскольку в горизонтальном направлении размер панели был больше, чем габаритный размер испытательного проёма (1,5 м), то в зоне поверхности панели, выступающей за проём, боковые поверхности, образующие сегментные бока цилиндрической панели, закрылись дополнительными звукоизолирующими средствами в виде матов АТМ-1 с трёхкратным поджатием. Собственная звукоизоляция сегментных заглушек была как минимум на 10 дБ больше по сравнению со звукоизоляцией испытательных образцов. Как показали экспериментальные исследования на композитных трёхслойных панелях с нанесением на их поверхности матов типа ППУ-35 и АТМ-1, при меньшей массовой отдаче материал ППУ-35 является более эффективным с точки зрения

вибродемпфирования и снижения структурного шума, нежели материал АТМ-1. На рисунке 1 представлены величины коэффициентов механических потерь (КМП)  $\eta$  для трёхслойных панелей без дополнительных материалов, а также с материалами ППУ-35 толщиной 20 мм и АТМ-1 толщиной 70 мм [8].

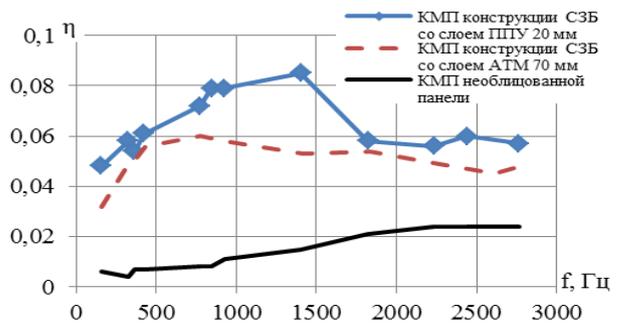


Рисунок 1. Величины КМП для трёхслойных панелей СЗБ без дополнительных материалов, а также с материалами ППУ-35 толщиной 20 мм и АТМ-1 толщиной 70 мм

Было принято решение об использовании именно материала ППУ-35. Для проведения анализа увеличения звукоизоляции цилиндрической оболочки СЗБ ППУ-35 были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях, в рамках которых были определены спектры перепада акустического давления (звукоизоляции) для панелей оболочки СЗБ с нанесением слоёв ППУ-35 толщиной 20 мм и без ППУ-35 [8]. В результате эксперимента выяснилось, что при нанесении материала ППУ-35 толщиной 20 мм собственная звукоизоляция улучшается лишь на частотах выше 2000 Гц (до 4 дБ), при этом дальнейшее утолщение материала привело бы к недопустимому утяжелению изделия (более чем на 100 кг). Однако, как показали дальнейшие исследования, связанные с получением коэффициента поглощения материала ППУ-35 (рисунок 2), данный коэффициент для конструкции СЗБ может значительно возрастать при использовании материала ППУ-35 толщиной 20 мм [8].

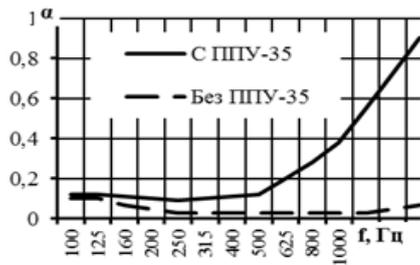


Рисунок 2. Коэффициент поглощения панели СЗБ с ППУ-35 и без ППУ-35

Из этого следует, что основное снижение акустического шума возможно не при прохождении волн через ППУ-35, а при распространении акустических волн внутри СЗБ

### 3 Теоретические исследования

Для оценки снижения акустического шума была использована математическая модель, основанная на энергетическом суммировании интенсивностей звука переотражённого внутри СЗБ для случая 50% заполнения цилиндрического КА, с коэффициентом поглощения 0,1 во всём эксплуатационном диапазоне частот и при нанесении 20 мм ППУ-35 на конструкцию СЗБ и без него. Вычисление отношения интенсивностей звука для СЗБ с ППУ-35 ( $I_2^\Sigma$ ) и без ППУ-35 ( $I_1^\Sigma$ ) проводилось по формулам [9]:

$$\Delta L = 10 \lg \left( \frac{I_2^\Sigma}{I_1^\Sigma} \right),$$

$$I_1^\Sigma = \frac{N(2 - \alpha_1)}{(2\pi)^2 RH} \left[ \int_0^H \int_0^{\varphi_1} \frac{1}{\Phi(\varphi, z)} d\varphi dz \right] \times$$

$$\times \left( \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(1 - \alpha_1)^{i-1} (1 - \alpha_{12})^{i-1}}{(2i - 1)} \right),$$

$$I_2^\Sigma = \frac{N(2 - \alpha_1)}{(2\pi)^2 RH} \left[ \int_0^H \int_0^{\varphi_1} \frac{1}{\Phi(\varphi, z)} d\varphi dz \right] \times$$

$$\times \left( \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(1 - \alpha_1)^{i-1} (1 - \alpha_{22})^{i-1}}{(2i - 1)} \right),$$

где  $\Phi(\varphi, z) = R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\varphi) + z^2$  - функция формы (для цилиндрического КА),  $R$  - радиус оболочки СЗБ,  $r$ ,  $H$  - радиус и высота цилиндрического объекта,  $z$ ,  $\varphi$  - продольная координата и полярный угол, по которым производится интегрирование,  $N$  - акустиче-

ская мощность, излучаемая оболочкой СЗБ,  $\alpha_1, \alpha_{12}, \alpha_{22}$  - коэффициенты поглощения объекта, оболочки СЗБ без ППУ-35 и оболочки СЗБ с ППУ-35 соответственно,  $\varphi_1 = \arccos(r/R) + \arccos(r/R)$  - предельный угол интегрирования,  $R_2 - R_1$  - разность между локальными звукоизоляциями с ППУ-35 и без ППУ-35, полученная в рамках экспериментов (п.2). Результаты расчёта отношения интенсивности звука для СЗБ с ППУ-35 и без ППУ-35 представлены на рисунке 3.

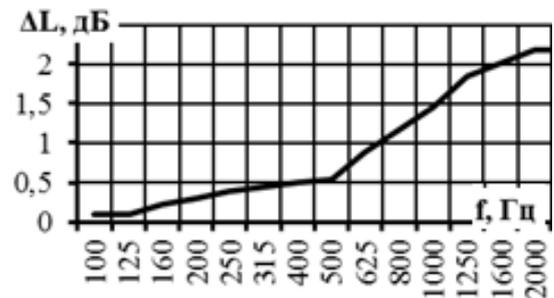


Рисунок 3. Результат расчёта отношения интенсивностей звука для СЗБ с ППУ-35 и без ППУ-35

### 4 Мероприятия по снижению нагруженности адаптируемых КА

Основываясь на экспериментальных и теоретических исследованиях, для снижения акустической нагруженности космических аппаратов под СЗБ необходимо:

Произвести монтаж матов звукоизоляционного материала ППУ-35 толщиной 20 мм в цилиндрической части СЗБ.

Для дополнительного дифракционного рассеивания произвести разнотолщинную установку ППУ-35 (20 мм и 50 мм) с линейными размерами получившихся ячеек равными длине полуволны с частотой 330 Гц.

Огибающие уровни акустического нагружения различных КА по данным натурных испытаний СЗБ при стартовой и полётной эксплуатации показали выполнение нормативных уровней, представленных на рисунке 4.

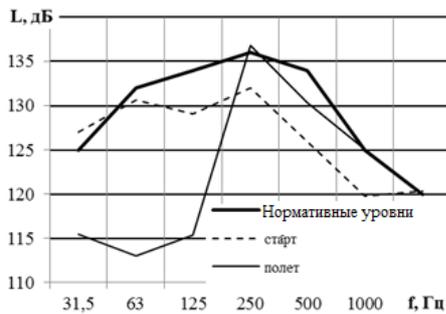


Рисунок 4. Огибающие уровни акустического нагружения различных КА под СЗБ при стартовой и полётной эксплуатации в сравнении с нормативными уровнями

## 5 Заключение

Проведенные исследования при лётно-конструкторских испытаниях РН «Союз-2» с исследуемым СЗБ подтвердили, что предложенные мероприятия по снижению акустической нагруженности космических аппаратов были выполнены, режимы не превосходили суммарного среднеквадратического уровня акустического давления, составляющего 140,6 дБ.

## 6 Благодарности

Результаты работы были получены с использованием средств гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (номер гранта МД-3082.2017.8).

## Список использованных источников

- [1] Grosveld F. W. Noise transmission through an acoustically treated and honeycomb-stiffened aircraft sidewall / F. W. Grosveld // J. Aircraft. – 1985. - Vol. 22, No. 5. - P. 434-440.
- [2] Grosveld F.W. Field-incidence noise transmission loss of general aviation aircraft double-wall configuration, AIAA J. - 1980. - Vol. 18, No. 4. - P. 484-500.
- [3] Beyer T. B. Effects of acoustic treatment on the interior noise of a twin-engine propeller airplane / T. B. Beyer // J. Aircraft. - 1985. - Vol. 22, No. 9. - P. 784-788.
- [4] Holmer S. I. Approach to interior noise control / S. I. Holmer // J.Aircraft. – 1985. - Vol. 22, No. 7. - P. 619-623.
- [5] Barton C. K. Noise transmission and control data for a light twin-engine aircraft / C. K. Barton // J. Aircraft. - 1981. - Vol. 18, No. 7. - P. 570-575.
- [6] Mixon J. S. Investigation of interior noise in a twin-engine light aircraft / J. S. Mixon // J. Aircraft. - 1978. - Vol. 15, No. 4. - P. 791-797.
- [7] Grosveld F. W. Noise transmission through sidewall treatments applicable to twin-engine turboprop aircraft / F. W. Grosveld // AIAA J. – 1980. - Vol. 18, No. 4. - P. 434-440.
- [8] Кузнецов В. М. Экспериментальное определение в акустической камере звукоизоляционных характеристик панелей ГО // НТО, ЦАГИ, 2004. - 28 с.
- [9] Попов П. А. Применение энергетического подхода при решении задач снижения шума внутри сборочно-защитного блока для космических аппаратов различной конфигурации / П. А. Попов, А. А. Иголкин, А. Н. Крючков // II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества. - 2017. - С. 1364-1369.

**CONSTRUCTIVE ACTIONS FOR DECREASE IN ACOUSTIC LOADING IN THE ASSEMBLY AND PROTECTIVE BLOCK 81KS**

**Pavel A. Popov,  
Alexander A. Igolkin**

Samara University  
34, Moskovskoe shosse, Samara,  
443086, Russian Federation  
banduir@ssau.ru

*On the basis of the experimental works which are carried out in TsAGI laboratories necessary parameters of coefficients of mechanical losses, absorption coefficients, coefficients of distribution and sound insulation for composite samples with drawing on their surfaces of different sound-absorbing materials which have allowed to reduce loading on adaptable spacecraft to the total mean square level of the acoustic pressure which is not exceeding 140,6 dB are received. In work the rated scheme of research of decrease in acoustic loadings is given and comparison of theoretical and experimental data is given. Results of rated pilot studies have been confirmed with design tests of launch vehicle "Soyuz-2".*

**Key words:** *Assembly and protective block; spacecraft; coefficient of mechanical losses; absorption coefficient; distribution coefficient; sound insulation*

**References**

- [1] Grosveld, F.W. (1985), "Noise transmission through an acoustically treated and honeycomb-stiffened aircraft sidewall", *J. Aircraft*, vol. 22, no. 5, pp. 434-440.
- [2] Grosveld F.W. (1980), "Field-incidence noise transmission loss of general aviation aircraft double-wall configuration", *AIAA J*, vol. 18, no. 4, pp. 484-500.
- [3] Beyer, T.B. (1985), "Effects of acoustic treatment on the interior noise of a twin-engine propeller airplane", *J. Aircraft*, vol. 22, no. 9, pp. 784-788.
- [4] Holmer, S.I. (1985), "Approach to interior noise control", *J. Aircraft*, vol. 22, no. 7, pp. 619-623.
- [5] Barton, C.K. (1981), "Noise transmission and control data for a light twin-engine aircraft", *J. Aircraft*, vol. 18, no. 7, pp. 570-575.
- [6] Mixon, J.S. (1978), "Investigation of interior noise in a twin-engine light aircraft", *J. Aircraft*, vol. 15, no. 4, pp. 791-797.
- [7] Grosveld, F.W. (1980), "Noise transmission through sidewall treatments applicable to twin-engine turboprop aircraft", *AIAA J*, vol. 18, no. 4, pp. 434-440.
- [8] Kuznetsov, V.M. (2004), "Eksperimentalnoe opredelenie v akusticheskoy kamere zvukoizolyatsionnih kharakteristik panelej GO" [Experimental definition in the acoustic camera of sound-proof characteristics of panels of the nose cone], *TsAGI*, 28 p.
- [9] Popov, P.A., Igolkin, A.A. and Kruchkov, A.N. (2017), "Primenenie energeticheskogo podhoda pri reshenii zadach snigenia shuma vnutri sborochno-zashitnogo bloka dlja kosmicheskikh apparatov razlichnoj konfiguratsii" [Application of power approach at the solution of problems of noise reduction in the assembly and protective block for spacecrafts of different configuration], *II Vserossiyskaya akusticheskaya konferentsiya, sovmeshchennaya s XXX sessiey Rossiyskogo akusticheskogo soobshchestva* [II All-Russian acoustic conference combined with the XXX session of the Russian acoustic society], Nizhniy Novgorod, Russia, 6-9 June 2017, pp. 1364-1369.