

doi: 10.32620/oikit.2021.94.05

УДК 629.7.08

В. Ю. Серебрянникова

## Пути реализации конструктивно-технологических решений совмещения функций звукоизоляции салона модификаций пассажирского судна с силовой конструкцией фюзеляжа

*ООО «Авиакомпания Джоника»*

Проведен анализ перспективного пути реализации конструктивно-технологических решений совмещения функций звукоизоляции салона модификаций пассажирского воздушного судна с силовой конструкцией фюзеляжа. Показано, что конструктивно-технологические решения, направленные на реализацию принципа совмещения функций конструктивных элементов узлов и агрегатов воздушных судов, обеспечивают снижение их массы и стоимости в процессе проектирования, производства и эксплуатации, а также повышение других показателей эффективности модификаций воздушных судов транспортной категории. При этом продуктивным является частный случай – принцип функционального суммирования конструктивных элементов. Рассмотрен многошаговый путь перспективного совмещения функций звукоизоляции модификации воздушного судна и силовой конструкции фюзеляжа. В качестве первого шага проанализирована эффективность совмещения функций конструктивных элементов типовой панели фюзеляжа, состоящей из стрингерного набора и тонкой обшивки, закрепленной на шпангоутах. Замена стрингерной панели трехслойной, в которой объединены функции стрингеров и обшивки, обеспечивает повышение ее несущей способности и снижение массы. При этом замена материала конструктивных элементов из алюминиевых сплавов на полимерный композиционный материал, армированный стеклянными или углеродными волокнами, приводит к известному усилению эффектов и является следующим шагом в реализации многошагового пути совмещения функций. Показано, что примером совмещения функций конструктивных элементов является создание опытного фюзеляжа самолета АН-2М трехслойной конструкции из стеклопластика, обеспечившего снижение массы на 62 кг или 14 %. Приведены результаты экспериментальных исследований других авторов, подтверждающие эффективность повышения звукоизоляции в различных вариантах образцов трехслойных панелей с заполнителем. Обоснована необходимость продолжительного и объемного процесса исследований для реализации в перспективных модификациях воздушных судов принципа функционального суммирования несущей способности корпуса салона воздушного судна с конкретными конструктивно-технологическими решениями элементов звукоизоляции. Такие исследования требуют решения задач прочности конструктивных элементов и узлов модифицированного фюзеляжа, акустики и оптимизации свойств конструкционных материалов с учетом экономической эффективности анализируемого конструктивно-технологического решения.

**Ключевые слова:** модификации воздушных судов, принцип совмещения функций, трехслойные панели, звукоизоляция, композиционные материалы, эффективность конструктивно-технологических решений.

В работе [1] проведен анализ эффективности совмещения функций конструктивных элементов при создании модификаций воздушных судов (ВС) и синтезированы основные частные случаи реализации этого принципа.

Показано, что конструктивно-технологические решения (КТР), направленные на реализацию принципа совмещения функций конструктивных элементов воздушных судов, приводят к снижению массы воздушного судна, его стоимости в производстве и на других этапах жизненного цикла и к повышению ряда составляющих показателя эффективности модификации ВС транспортной

категории (ТК). При этом представляются продуктивными многошаговые модификации, при которых последовательно реализуются различные частные случаи принципа, например, частного случая функционального суммирования конструктивных элементов.

Несомненно, что детальная разработка конкретных КТР является самостоятельной сложной задачей конструкторов, технологов и других узких специалистов. Поэтому в данной работе поставлена задача только провести анализ возможного синтеза многошагового пути разработки перспективных КТР совмещения функций элементов в модификации ВС.

Первый шаг – это анализ эффективности совмещения функций конструктивных элементов типовой панели крыла или фюзеляжа, состоящей из стрингерного набора и тонкой обшивки, закрепленной на шпангоутах. Известно, что стрингеры предназначены для восприятия осевых усилий растяжения и сжатия, а также предотвращения местной потери устойчивости панели, а обшивка воспринимает сдвиг (кручение) панели.

Замена стрингерной панели трехслойной, в которой объединены функции стрингеров и обшивки, обеспечивает повышение ее несущей способности и снижение массы [2]. Замена материала конструктивных элементов из алюминиевых сплавов на полимерный композиционный материал, армированный стеклянными или углеродными волокнами, приводит к известному усилению отмеченных выше эффектов [3 – 4] и может считаться следующим шагом в реализации многошагового пути совмещения функций.

Достаточно масштабным примером описанного выше пути совмещения функций конструктивных элементов является создание в студенческом конструкторском бюро Харьковского авиационного института по заданию Генерального конструктора О. К. Антонова опытного фюзеляжа самолета АН-2М трехслойной конструкции из стеклопластика, обеспечившего снижение массы на 62 кг или 14% [5 – 6].

Как известно, любой конструктивный элемент, реализующий определенное функциональное назначение в модификации ВС, обладает массой  $m_i$ , часть которой  $\Delta m_i$  суммируется с массой конструктивного элемента, обеспечивающего другое функциональное назначение  $m_j$ .

В предлагаемом КТР конструктивный элемент, совмещающий функцию звукоизоляции (имеющий в базовом ВС массу  $m_{зв баз}$ ) с функцией, обеспечивающей несущую способность фюзеляжа (с массой  $m_{фюз баз}$ ), будет иметь суммарную массу модификации базового ВС:

$$m_{мод} = m_{зв мод} + m_{фюз мод}. \quad (1)$$

При этом

$$0 < m_{зв мод} < m_{зв баз}. \quad (2)$$

Масса элемента звукоизоляции модификации ВС, совмещенная с массой элемента, обеспечивающего несущую способность фюзеляжа, в соответствии с (2) меньше его массы в базовом ВС, однако она существенно больше нуля, так как полное совмещение их функций весьма проблематично, если вообще возможно, поскольку звукоизоляция включает в себя и теплоизолирующие функции. Поэтому, как показано в анализе, выполненном в работе [7], эффективные КТР звукоизоляции, по-видимому, имеют комплексный характер.

В качестве одного из частных случаев реализации принципа совмещения функций конструкций модификаций ВС ТК предложен принцип функционального суммирования [1], в соответствии с которым совмещение функциональных свойств  $X_{ki}$  и  $X_{kj}$  элементов  $\mathcal{E}_i$  и  $\mathcal{E}_j$  путем их структурно-физического объединения или вырождения одного из них ( $X_{ki}$ ) выражается в символах математической логики [8] формулами:

$$X_{ki} \wedge X_{kj} \subseteq X_{ij}, \quad X_{ij} \subset \mathcal{E}_{ij}, \quad Y_i \wedge Y_j \subseteq Y_{ij}, \quad Y_{ij} \subseteq \mathcal{E}_{ij}, \quad \downarrow \mathcal{E}_{ij}, \quad k_i \wedge k_j \subset \mathcal{E}_{ij}. \quad (3)$$

Смысловое содержание формулы (3) состоит в том, что функциональные свойства  $X_{ki}$  и  $X_{kj}$  элементов  $\mathcal{E}_i$  и  $\mathcal{E}_j$  входят в элемент  $\mathcal{E}_{ij}$ , побочные свойства  $Y_i$  элемента  $\mathcal{E}_i$  и побочные свойства  $Y_j$  элемента  $\mathcal{E}_j$  содержатся в элементе  $\mathcal{E}_{ij}$ , который существует физически.

Частный принцип функционального суммирования можно интерпретировать схемой на рис. 1, где  $k_i, k_j$  – воздействия на интегральный элемент  $\mathcal{E}_{ij}$ , вызывающие (проявляющие) функции соответственно  $\Phi_i$  и  $\Phi_j$  элементов  $\mathcal{E}_i$  и  $\mathcal{E}_j$ .

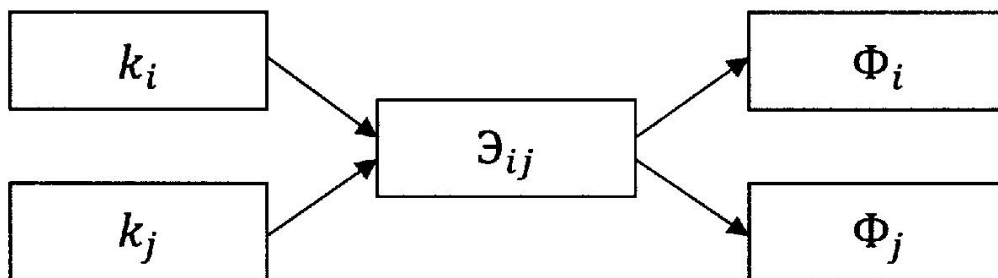


Рис. 1. Интерпретация частного принципа функционального суммирования элементов ВС

Этот частный принцип реализован КТР баков-кессонов [9], носовой части корпуса ВС из радиопрозрачного материала [10], элевонами и др.

Среди других, еще нереализованных случаев применения этого принципа, ниже предложен возможный путь совмещения функций силовых панелей фюзеляжа ВС, выполненных трехслойными с сотовым заполнителем [11] и обладающих четко выраженными звукоизолирующими и шумопоглощающими свойствами [11].

Существует мнение некоторых исследователей о том, что самолет любой модификации имеет массу, большую, чем масса базового ВС [12]. Однако абсолютизация этого тезиса ошибочна, что подтверждается предлагаемым КТР.

В работе [13] проведен анализ эффективности звукоизоляции 103 образцов панелей, испытанных в реверберационной камере по стандартной методике [7]. Результаты этих испытаний свидетельствуют об эффективности образцов сотовых панелей как с несущими слоями из алюминиевых сплавов, так и из стеклопластиков. Однако испытания показали необходимость принятия более четких требований к КТР панелей для установления конкретного вклада в уровень звукоизоляции собственно самой панели, изолированной от элементов других составляющих звукоизоляции. Это позволит выявить конструктивные

параметры и массовые характеристики, формирующие суммарную массу модифицированной панели [1].

### Выводы

1. Проведен анализ одного из продуктивных многошаговых путей реализации КТР совмещения функций звукоизоляции салона модификации пассажирского ВС с силовой конструкцией фюзеляжа.

2. Обоснована необходимость продолжительного и объемного процесса исследований для реализации в перспективных модификациях воздушных судов принципа функционального суммирования несущей способности корпуса салона воздушного судна с конкретными конструктивно-технологическими решениями элементов звукоизоляции. Такие исследования требуют решения задач прочности конструктивных элементов и узлов модифицированного фюзеляжа, акустики и оптимизации свойств конструкционных материалов с учетом экономической эффективности анализируемого КТР.

3. Показано, что КТР, направленные на реализацию принципа совмещения функций конструктивных элементов узлов и агрегатов ВС, обеспечивают снижение их массы и стоимости в процессе проектирования, производства и эксплуатации, а также повышение других показателей эффективности модификаций ВС ТК.

### Список литературы

1. Серебрянникова, В. Ю. Принцип совмещения функций элементов конструкций модификаций воздушных судов и его составляющие / В. Ю. Серебрянникова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Харьков, 2020. – Вып. 90. – С. 90 – 103. doi: 10.32620/oikit.2020.90.07.

2. Панин, В. Ф. Конструкции с заполнителем. Справочник / В. Ф. Панин, Ю. А. Гладков. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.

3. Композиционные материалы. Справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.

4. Композиционные материалы. Справочник. / В. В. Васильев [и др.]; под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

5. Фюзеляж самолета Ан-2М из стеклопластиков / А. Ф. Пильник, Л. А. Колесников, Я. С. Карпов, В. Е. Гайдачук // Самолетостроение и техника воздушного флота: респ. межвед. тематич. сб. науч. трудов. – Харьков, 1971. – Вып. 26. – С. 63 – 66.

6. Прочностные испытания самолета АН-2М с фюзеляжем из стеклопластика / В. Е. Гайдачук, Л. А. Колесников, А. И. Макеев, Л. А. Тришина, А. Ф. Пильник // Прочность композиционных материалов и их применение в конструкциях летательных аппаратов : сб. науч. ст. РКВИАУ им. Я. Алксниса. – Рига, 1970. – Вып. 9. – С. 28–37.

7. Филь, С. А. Общие подходы к анализу эффективных конструктивно-технологических решений звукоизоляции салонов перспективных пассажирских самолетов и их модификаций / С. А. Филь // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм.

ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Харьков, 2005. – Вып. 4 (43). С. 109 – 119.

8. Кондаков, Н. Н. Логический словарь-справочник. 2-е изд., доп. и исп. / Н. Н. Кондаков. – М.: Наука, 1975. – 717 с.

9. Проектирование самолетов / А. А. Бадягин [и др.]. – М. Машиностроение, 1972. – 716 с.

10. Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов. Проектирование, конструкционные материалы, технология производства : учеб. пособие. / А. Г. Ромашин, В. Е. Гайдачук, Я. С. Карпов, М. Ю. Русин – Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 239 с.

11. Оптимальное проектирование композитных сотовых конструкций авиакосмической техники / В. Е. Гайдачук, А. В. Кондратьев, В. В. Кириченко, В. И. Сливинский. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 172 с.

12. Сотовые заполнители и панельные конструкции космического назначения: монография. В 2 т. Т. 2. Совершенствование сотовых заполнителей и конструкций технологическими методами / А. В. Гайдачук [и др.]. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – 247 с.

13. Капітанова, Л. В. Аналіз та синтез зльотно-посадочних характеристик модифікацій літаків транспортної категорії : автореферат дис. ... д-ра техн. наук / Л. В. Капітанова. – Харків, 2021. – 30 с.

14. Запорожец, А. И. Методика и результаты исследования звукоизоляции салонов пассажирских самолетов / А. И. Запорожец, Н. И. Круль, С. А. Филь // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Харьков, 2006. – Вып. 1 (44). С. 38 – 53.

## References

1. Serebrjannikova, V. Ju. *Princip sovmeshhenija funkcij jelementov konstrukcij modifikacij vozdušnyh sudov i ego sostavljajushhie* [The principle of combining the functions of structural elements of aircraft modifications and its components]. Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii: Sb. nauch. trudov Nac. azerokosm. Un-ta im. N.E. Zhukovskogo «HAI». Kharkov: KhAI, Publ. 2020, no. 90. pp. 90 – 103. doi: 10.32620/oikit.2020.90.07.

2. Panin, V. F., Gladkov Ju. A. *Konstrukcii s zapolnitelem. Spravochnik* [Designs with aggregate. Directory]. Moscow: Mashinostroenie, Publ. 1991. 272 p.

3. *Kompozicionnye materialy. Spravochnik*. [Composite materials. Directory] Pod red. d.t.n. prof. D. M. Karpinosa. Kiev: Naukova dumka, Publ. 1985. 592 p.

4. Vasil'ev, V. V., Protasov V. D., Bolotin, V. V. i dr. *Kompozicionnye materialy. Spravochnik*. [Composite materials. Directory]. Pod obshhej red. V. V. Vasil'eva, Ju. M. Tarnopol'skogo. Moscow: Mashinostroenie, Publ. 1990. 512 p.

5. Pil'nik, A. F., Kolesnikov, L. A., Karpov, Ja. S., Gajdachuk, V. E. *Fjuzeljazh samoleta An-2M iz stekloplastikov*. [Fuselage An-2M aircraft from fiberglass]. Samoletostroenie i tehnika vozdušnogo flota: resp. mezhved. tematich. sb. nauch. trudov. Har'kov, Publ. 1971. no. 26. pp. 63 – 66.

6. Gajdachuk, V. E., Kolesnikov, L. A., Makeev, A. I., Trishina, L. A., Pil'nik, A. F. *Prochnostnye ispytaniya samoleta AN-2M s fjuzeljazhem iz stekloplastika*. [Furious tests of the An-2m aircraft with fuselage from fiberglass]. Prochnost' kompozicionnyh materialov i ih primenenie v konstrukcijah letatel'nyh apparatov : sb.

nauch. st. RKVIAU im. Ja. Alksnisa. Riga: RKVIAU im. Ja. Alksnisa, Publ. 1970. no. 9. pp. 28 – 37.

7. Fil', S. A. *Obshhie podhody k analizu jeffektivnyh konstruktivno-tehnologicheskikh reshenij zvukoizoljatsii salonov perspektivnyh passazhirskih samoletov i ih modifikacij*. [General approaches to the analysis of effective constructive technological solutions of sound insulation of prospective passenger aircraft salons and their modifications]. *Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov: sb. nauch. trudov Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «HAI»*. Har'kov: KhAI, Publ. 2005. no. 4 (43). pp. 109 – 119.

8. Kondakov, N. N. *Logicheskij slovar'-spravochnik* [Logical dictionary-reference]. Izd. 2-e, dopoln. i ispravl. Moscow: Nauka, Publ. 1975. 717 p.

9. Badjagin, A. A., Eger, S. M., Mishin, V. F. i dr. *Proektirovanie samoletov* [Aircraft design]. Moscow: Mashinostroenie, Publ. 1972. 716 p.

10. Romashin, A. T., Gajdachuk, V. E., Karpov, Ja. S., Rusin, M. Ju. *Radio-prozrachnye obtekateli letatel'nyh apparatov. Proektirovanie, konstrukcionnye materialy, tehnologija proizvodstva*. [Radio transparent fairing of aircraft. Design, structural materials, production technology]. Ucheb. posobie. Har'kov: KhAI, Publ. 2003. 239 p.

11. Gajdachuk, V. E., Kondrat'ev, A. V., Kirichenko, V. V., Slivinskij, V. I. *Optimal'noe proektirovanie kompozitnyh sotovyh konstrukcij aviakosmicheskoy tehniki*. [Optimal design of composite cellular designs of aerospace equipment]. Har'kov: KhAI, Publ. 2011. 172 p.

12. Gajdachuk, A. V., Gajdachuk, V. E., Karpikova, O. A. i dr. *Sotovyie zapolniteli i panel'nye konstrukcii kosmicheskogo naznachenija*. [Cellular placeholders and satellite panel structures]. Monografija v 2-h t. Tom. 2. Sovershenstvovanie sotovyh zapolnitelej i konstrukcij tehnologicheskimi metodami. [Improvement of cellular aggregates and structures technological methods]. Pod red. A. V. Gajdachuka. Har'kov: KhAI, Publ. 2015. 247 p.

13. Kapitanova, L. V. *Analiz ta sintez zl'otno-posadochny`x xaraktery`sty`k modyfikacij litakiv transportnoyi kategorii*. [Analysis and synthesis of the take-off characteristics of modifications of transport category aircraft]. Avtoreferat dy`s. na zdob. nauk stup. d-ra texn. nauk. Xarkiv: KhAI, Publ. 2021. 30 p.

14. Zaporozhec, A. I., Krul', N. I., Fil', S. A. *Metodika i rezul'taty issledovanija zvukoizoljatsii salonov passazhirskih samoletov*. [Methodology and results of the study of sound insulation of passenger aircraft salons]. *Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov: sb. nauch. trudov Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «HAI»*. Har'kov: KhAI, Publ. 2006. no. 1 (44). pp. 38 – 53.

Надійшла до редакції 11.12.2021, розглянута на редколегії 11.12.2021

## **Шляхи реалізації конструктивно-технологічних рішень су- міщення функцій звукоізоляції салону модифікацій пасажирського судна з силовою конструкцією фюзеляжу**

Проведено аналіз перспективного шляху реалізації конструктивно-технологічних рішень поєднання функцій звукоізоляції салону модифікацій пасажирського повітряного судна з силовою конструкцією фюзеляжу. Показано, що конструктивно-технологічні рішення, спрямовані на реалізацію принципу поєднання функцій конструктивних елементів вузлів і агрегатів повітряних суден,

забезпечують зниження їх маси і вартості в процесі проектування, виробництва і експлуатації, а також підвищення інших показників ефективності модифікацій повітряних суден транспортної категорії. При цьому продуктивним є окремий випадок – принцип функціонального підсумовування конструктивних елементів. Розглянуто багатокроковий шлях перспективного поєднання функцій звукоізоляції модифікації повітряного судна і силової конструкції фюзеляжу. Як перший крок проаналізована ефективність поєднання функцій конструктивних елементів типової панелі фюзеляжу, що складається з набору стрингера і тонкої обшивки, закріпленої на шпангоутах. Заміна панелі стрингера тришаровою, в якій об'єднані функції стрингерів і обшивки, забезпечує підвищення її несучої здатності і зниження маси. При цьому заміна матеріалу конструктивних елементів з алюмінієвих сплавів на полімерний композиційний матеріал, армований скляними або вуглецевими волокнами, приводить до відомого посилення ефектів і є наступним кроком в реалізації багатокрокового шляху поєднання функцій. Показано, що прикладом поєднання функцій конструктивних елементів є створення дослідного фюзеляжу літака АН-2М тришарової конструкції із склопластику, що забезпечив зниження маси на 62 кг або 14 %. Наведено результати експериментальних досліджень інших авторів, що підтверджують ефективність підвищення звукоізоляції в різних варіантах зразків тришарових панелей із заповнювачем. Обґрунтовано необхідність тривалого і об'ємного процесу досліджень для реалізації в перспективних модифікаціях повітряних суден принципу функціонального підсумовування несучої здатності корпусу салону повітряного судна з конкретними конструктивно-технологічними рішеннями елементів звукоізоляції. Такі дослідження потребують вирішення питань міцності конструктивних елементів і вузлів модифікованого фюзеляжу, акустики і оптимізації властивостей конструкційних матеріалів з урахуванням економічної ефективності аналізованого конструктивно-технологічного рішення.

**Ключові слова:** модифікації повітряних суден, принцип поєднання функцій, тришарові панелі, звукоізоляція, композиційні матеріали, ефективність конструктивно-технологічних рішень.

## **Ways to implement constructive and technological solutions to combine sound insulation functions of the passenger vessel modification salon with power structures of the fuselage**

An analysis of the promising way to implement constructive technological solutions to combine the soundproofing functions of the passenger aircraft modification salon with the power structure of the fuselage is carried out. It is shown that constructive technological solutions aimed at implementing the principle of combining the functions of structural elements of nodes and aircraft units provide a decrease in their mass and value in the process of design, production and operation, as well as to increase other indicators of the efficiency of aircraft modifications of the transport category. At the same time, its special case is productive - the principle of functional summation of structural elements. An analysis of the multi-step path of promising combination of sound insulation functions of the modification of the aircraft and the power structure of its fuselage is carried out. As a first step, an analysis of the efficiency of combining the functions of the structural elements of the sample panel of the fuselage, consisting of a stringer dialing and a thin casing, fixed on the patch-

mosts. Replacing the three-layer stringer panel, in which the functions and trim functions are combined, ensures an increase in its carrier ability and a loss of mass. At the same time, the substitution of the material of the structural elements made of aluminum alloys on a polymer composite material reinforced with glass or carbon fibers leads to a known effects of effects and is the next step in implementing a multi-step path of combining functions. It is shown that an example of this path of combining the functions of structural elements is the creation of an experimental fuselage of the an aircraft an-2m three-layer design of fiberglass, which has ensured a decrease in mass by 62 kg or 14%. Examples of the results of experimental studies of other authors confirming the effectiveness of sound insulation in various versions of samples of three-layer panels with aggregate. The need for a long and volumetric process of research for implementation in promising modifications of aircraft principle of functional summation of the carrier body of the aircraft cabin with specific constructive-technological solutions of sound insulation, requiring solutions to the strength of structural elements and nodes of the modified fuselage, acoustics and optimization of properties that implement the modification of structural Materials, taking into account the economic efficiency of the analyzed constructive and technological solution.

**Keywords:** modifications of aircraft, principle of combining functions, three-layer panels, sound insulation, composite materials, efficiency of constructive technological solutions.

**Сведения об авторах:**

**Серебрянникова Виктория Юлиевна** – Генеральный директор ООО «Авиакомпания Джоника», г. Киев, Украина, [98arbalet@ukr.net](mailto:98arbalet@ukr.net)

**About the Author:**

**Serebryannikova Victoria Yulievna** – General Director of Airline Jonika LLC, Kyiv, Ukraine, [98arbalet@ukr.net](mailto:98arbalet@ukr.net)