

УДК 621.452.3-758.34-047.37

doi: 10.32620/akt.2022.4sup.2.05

Є. О. РИМАРЕНКО

ДП "АНТОНОВ", Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ ЗВУКОПОГЛИНАЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Показано, що проблема авіаційного шуму, яка впливає на населення поблизу аеропортів не втрачає своєї актуальності і досі. Зазначено, що забруднення довкілля від авіаційного шуму є не менш впливове, ніж забруднення повітря або води. Міжнародна спільнота приділяє значну увагу до вирішення проблеми авіаційного шуму, запроваджуючи вимоги та обмеження рівня шуму літаків, що розробляються або експлуатуються. Серед джерел шуму літака слід виділити одне з головних джерел – це шум, що створюють газотурбінні двигуни. Для зниження рівня шуму двигунів застосовуються різноманітні методи, серед яких варто зазначити застосування звукопоглинаючих конструкцій, що розміщуються в мотогондолах двигуна. Для виконання сучасних міжнародних вимог звукопоглинаючі конструкції мають знижувати рівень шуму в широкому частотному діапазоні. Показано, що для визначення акустичних характеристик звукопоглинаючих конструкцій існує декілька методів: метод стоячої хвилі, метод передаточної функції, метод ревербераційної камери та метод використання акустичного каналу з потоком. Кожен із зазначених методів можливо використати на етапах розробки звукопоглинаючих конструкцій для газотурбінних двигунів. Показано, що метод стоячої хвилі доцільно застосовувати на початковій стадії досліджень, оскільки він дозволяє визначити найбільш перспективні звукопоглинаючі конструкції для подальших досліджень. В роботі представлено результати досліджень для шести дослідних зразків звукопоглинаючих конструкцій. Серед дослідних зразків слід виділити дві групи конструкцій. В конструкціях першої групи зниження шуму в широкому діапазоні частот досяглося за допомогою ефекту в'язкого тертя як у пористоволокнистих матеріалах. В конструкціях другої групи розширення частотного діапазону поглинання досяглося завдяки розміщенню комірок з різними резонансними частотами. За результатами досліджень показано, що можливо створення звукопоглинаючих конструкцій, які поглинають шум в широкому частотному діапазоні, так один з дослідних зразків має коефіцієнт звукопоглинання більше 0,8 в діапазоні частот від 1600 Гц до 3500 Гц.

Ключові слова: авіаційний шум; газотурбінні двигуни; шум вентилятора; звукопоглинаючі конструкції; коефіцієнт звукопоглинання; метод стоячої хвилі.

Вступ

Проблема авіаційного шуму, що негативно впливає на населення, яке проживає поблизу аеропортів [1], виникла в середині ХХ століття та не втрачає своєї актуальності. Слід зазначити, що забруднення від авіаційного шуму вважається не менш впливовим на довкілля, ніж забруднення повітря та води [2]. Міжнародні вимоги щодо авіаційного шуму [3] постійно посилюються, тому задачі зі зниження шуму літаків необхідно вирішувати і на етапі проектування літака, і на етапі його експлуатації.

Одним із головних джерел шуму літака є шум, що створюється двигунами літака [4], особливо шум вентилятора. Для зниження шуму застосовуються різноманітні методи, серед яких варто зазначити використання звукопоглинаючих конструкцій (ЗПК), що розміщуються в мотогондолах двигуна.

Метою роботи є: розробка та дослідження акустичних властивостей ЗПК, що знижують шум газотурбінних двигунів в широкому частотному діапазоні.

1. Постановка задачі

Для визначення акустичних ЗПК слід виділити декілька методів отримання коефіцієнтів звукопоглинання:

- 1) метод стоячої хвилі [5];
- 2) метод передаточної функції [6];
- 3) метод ревербераційної камери [7];
- 4) метод акустичного каналу з потоком [7].

За допомогою методів 1 та 2 визначається коефіцієнт звукопоглинання при нормальному падінні звукової хвилі. Дослідний зразок розміщується на одному кінці труби впритул до жорсткої стінки, а з іншого боку труби розміщується джерело звуку. Звукова хвиля від джерела звуку падає на дослідний зразок та відбивається від нього, причому частина падаючої звукової енергії поглинається. У трубі пряма та відбита звукові хвилі створюють стоячу хвилю, вимірюючи параметри якої можна визначити коефіцієнт звукопоглинання. Відмінності метода 1 та метода 2 полягають у тому, що метод 2 є більш вдосконаленою версією метода 1. За допомогою

метода 3 можна визначити коефіцієнт звукопоглинання в дифузному полі, що більш наближено до умов падіння звукової хвилі на панель ЗПК в мотогондолах двигунів. Метод 4 є найбільш наближеним до умов польоту літака, оскільки зразок ЗПК розміщується у каналі з потоком повітря. При розробці ЗПК на початковому етапі слід використати метод 1 або 2, оскільки вони дозволяють провести дослідження більшої кількості дослідних конструкцій ЗПК та визначити більш перспективні конструкції для подальших досліджень. Установка для визначення коефіцієнту поглинання, що використовувалась у дослідженнях, працює за методом 1.

Для дослідження було розроблено декілька моделей ЗПК, що представлені у таблиці 1. На основі цих моделей були виготовлені дослідні зразки за допомогою 3D принтеру.

В дослідних зразках ЗПК №4 та №5 були зроблені отвори в комірках для забезпечення зниження шуму в широкому діапазоні частот завдяки ефекту в'язкого тертя, як це відбувається в пористих та пористоволокнистих матеріалах [8].

В дослідних зразках №1, №2, №3, №6 було досліджено можливість розширення полоси частот поглинання завдяки зниженню резонансної частоти комірок ЗПК. У конструкції ЗПК №1 та №2 довжина комірок дорівнює товщині наповнювача, ЗПК №3 має більш складну комірку з подовженим шляхом руху звукової хвилі. Конструкція ЗПК №6 складається з декількох комірок з різними резонансними частотами, що має забезпечити постійне поглинання шуму в достатньо широкому частотному діапазоні.

Товщина наповнювача вибиралася висотою 30 мм, що відповідає товщині конструкції ЗПК, яка розміщується у мотогондолах двигунів літака, наприклад для мотогондоли двигуна Д-18Т.

1. Результати

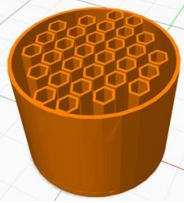
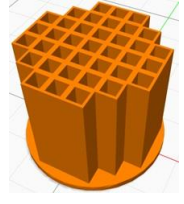
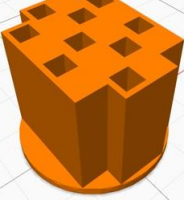
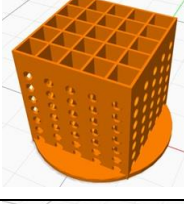
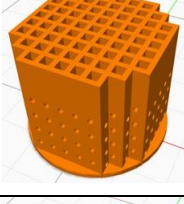
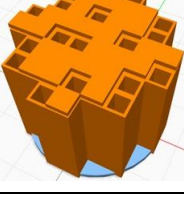
Результати досліджень конструкцій ЗПК зображені на рис. 1 – 6, а також для порівняння результати вимірювання коефіцієнту звукопоглинання ЗПК для двигуна Д-18Т. За результатами вимірювання слід виділити конструкції ЗПК №5 та ЗПК №6, що мають найкращі показники звукопоглинання в достатньо широкому діапазоні частот.

Аналіз результатів вимірювання показав, що за допомогою отворів у комірках (ЗПК №4 та №5) можливе досягнення поглинання звуку в широкому частотному діапазоні. Так для конструкції ЗПК №5 в діапазоні від 2000 Гц до 4000 Гц коефіцієнт звукопоглинання перевищує показники для конструкції ЗПК Д-18Т.

Аналіз результатів досліджень конструкцій ЗПК №1, №2, №3 та №6 показав, що розширення

Таблиця 1

ЗПК для дослідження

Номер зразка	Вигляд дослідного зразка	Опис дослідного зразка
ЗПК №1		Наповнювач у вигляді шестигранних комірок
ЗПК №2		Наповнювач у вигляді прямокутних комірок
ЗПК №3		Наповнювач у вигляді прямокутних комірок зі збільшеною довжиною шляху для звукової хвилі
ЗПК №4		Наповнювач у вигляді прямокутних комірок з отворами на бокових стінках
ЗПК №5		Наповнювач у вигляді прямокутних комірок з отворами на бокових стінках
ЗПК №6		Наповнювач у вигляді прямокутних комірок зі збільшеною довжиною шляху звукової хвилі

частотного діапазону звукопоглинання завдяки зниженню резонансної частоти комірки, особливо коли досліджувана конструкція мала комірки з різними резонансними частотами (конструкція ЗПК №6 є модифікованим варіантом комбінації конструкцій ЗПК №2 та №3), дає кращі результати, ніж для ЗПК з ефектом в'язкого тертя. Для конструкції ЗПК №6 коефіцієнт звукопоглинання має значення більше 0.8 в діапазоні від 1600 Гц до 3500 Гц, що майже в два рази більше, ніж для конструкції ЗПК №5.

Порівняно з результатами вимірювання конструкції Д-18Т для деяких конструкцій в таблиці 1 вдалося досягти зниження шуму в широкому діапазоні частот.

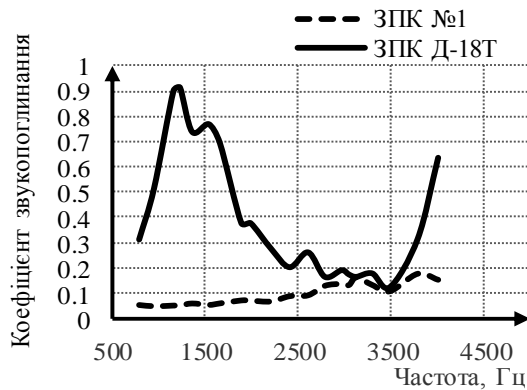


Рис. 1. Результати вимірювання коефіцієнтів звукопоглинання ЗПК №1 та ЗПК Д-18Т

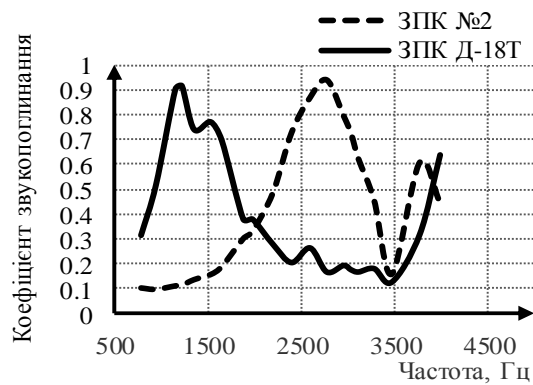


Рис. 2. Результати вимірювання коефіцієнтів звукопоглинання ЗПК №2 та ЗПК Д-18Т

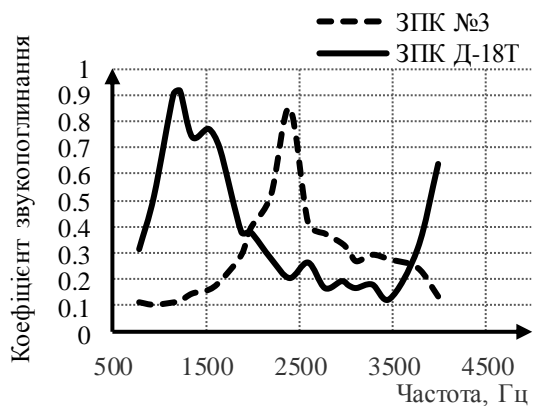


Рис. 3. Результати вимірювання коефіцієнтів звукопоглинання ЗПК №3 та ЗПК Д-18Т

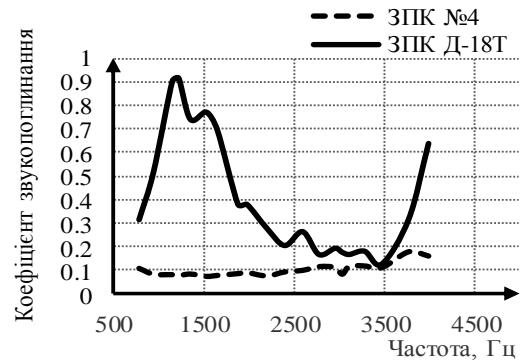


Рис. 4. Результати вимірювання коефіцієнтів звукопоглинання ЗПК №4 та ЗПК Д-18Т

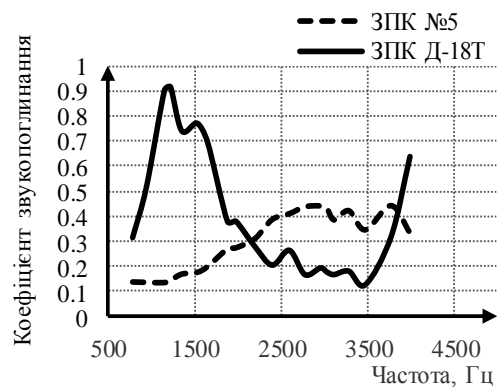


Рис. 5. Результати вимірювання коефіцієнтів звукопоглинання ЗПК №5 та ЗПК Д-18Т

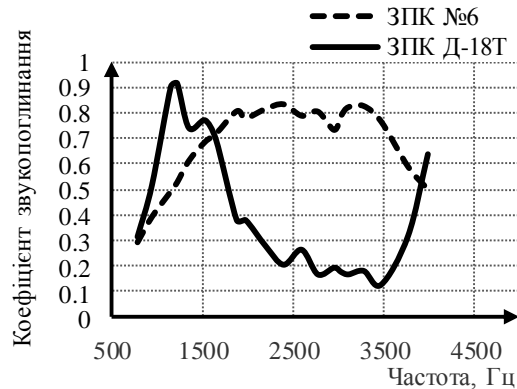


Рис. 6. Результати вимірювання коефіцієнтів звукопоглинання ЗПК №6 та ЗПК Д-18Т

Висновки

Проблема авіаційного шуму є актуальною для розробників авіаційної техніки. Задачі зі зниження авіаційного шуму літака потрібно вирішувати як на етапі його проектування, так і під час експлуатації вже розробленого літака. Серед основних джерел шуму слід виділити шум, що створюється газотурбінними двигунами. Для зниження шуму двигунів

слід виділити застосування ЗПК. Розглянуті основні методи визначення акустичних характеристик ЗПК серед яких було виділено метод стоячої хвилі, як найбільш зручний для початкових досліджень, та вибору найбільш перспективних конструкцій для подальших досліджень. розглянуто результати вимірювання шести конструкцій ЗПК. Звукопоглинання в широкому частотному діапазоні для таких конструкцій досягалося завдяки ефекту в'язкого тертя ЗПК №5 або завдяки розміщенню комірок з різними резонансними частотами ЗПК №6. Результати досліджень показують можливість створення конструкцій з поглинанням шуму в більш широкому діапазоні частот.

Література

1. Максимов, Р. И. Негативное влияние авиационного шума на здоровье населения, проживающего вблизи аэропорта [Текст] / Р. И. Максимов // *Интерактивная наука*. – 2021. – Вып. 7(62). – С. 26–28. DOI: 10.21661/r-554648.

2. Бондарчук, С. В. До питання про вплив шуму на людину під час виконання авіаційних хімічних робіт [Текст] / С. В. Бондарчук // *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту* – 2015. – Вып. 28. – С. 149-154.

3. Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Охрана окружающей среды. Том 1. Авиационный шум. Издание восьмое [Текст]. – Монреаль : Международная организация гражданской авиации, 2017. – 264 с.

4. Болунь, Ч. О проблеме шума на местности современных пассажирских самолётов [Текст] / Ч. Болунь, А. А. Яковлев, П. А. Мошков // *Защита от повышенного шума и вибрации : сборн. докл. VII Всероссийской научно-практич. конф. с междунар. участием, 19-21 марта 2019 г. – СПб., 2019. – С. 787–793.*

5. ISO 10534-1. Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: method using standing wave ratio [Text]. – Geneva : International Organization for Standardization, 1996. – 24 p.

6. ISO 10534-2. Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method [Text]. – Geneva : International Organization for Standardization, 1998. – 27 p.

7. Постнов, В. И. Исследования и оптимизация выбора звукопоглощающих конструкций [Текст] / В. И. Постнов, В. И. Вякин, Е. А. Вешкин // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. – 2011. – Вып. 3(27). – С. 55–64.

8. Пористоволокнистый металлический материал для звукопоглощающих конструкций авиационных ГТД [Текст] / Д. П. Фарафонов, В. П. Мигунов,

М. Л. Деговец, Р. Ш. Алёшина // *Труды ВИАМ*. – 2016. – Вып. 4(40). – С. 3–12.

References

1. Maksimov, R. I. Negativnoe vliyanie aviacionnogo shuma na zdorov'e naselenija, prozhivajushhego vblizi ajeroporta [The negative impact of aircraft noise on the health of the population living near the airport]. *Interaktivnaja nauka – Interactive science*, 2021, no. 7(62), pp. 26–28. DOI: 10.21661/r-554648.

2. Bondarchuk, S. V. Do pytannya pro vplyv shumu na lyudynu pid chas vykonannya aviatsiynykh khimichnykh robit [On the question of the impact of noise on humans during the performance of aviation chemicals] *Technology in agricultural production, industrial engineering, automation : zb. nauk. pr. Kirovograd's'kogo nacz. tehn. un-tu*, 2015, no. 28, pp. 149-154.

3. Prilozhenie 16 k Konvencii o mezhdunarodnoj grazhdanskoj aviacii. Ohrana okruzhajushhej sredy. Tom 1. Aviacionnyj shum. Izdanie vos'moe [Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Environmental protection. Volume I. Aircraft noise. Eighth Edition]. Montreal. Mezhdunarodnaja organizacija grazhdanskoj aviacii - International civil aviation organization Publ, 2017. 264 p. (in Russian)

4. Bolun', Ch., Jakovlev, A. A., Moshkov, P. A. O probleme shuma na mestnosti sovremennykh passazhirskih samoljotov [Influence of power plant configuration on community aircraft noise] *Zashhita ot povyshennogo shuma i vibracii: sborn. dokl. VII Vserossijskoj nauchno-praktich. konf. s mezhdunar. uchastiem*. [VII All-russian research to practice conference with international participation Protection against excessive noise and vibration], Saint-Petersburg, 2019, pp. 787–793 (in Russian).

5. ISO 10534-1. Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: method using standing wave ratio. Geneva, International Organization for Standardization Publ., 1996. 24 p.

6. ISO 10534-2. Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method. Geneva, International Organization for Standardization Publ., 1998. 27 p.

7. Postnov, V. I., Vjakin, V. I. Veshkin, E. A. Issledovanija i optimizacija vybora zvukopogloshhajushhih konstrukcij [Research and optimization of the choice of acoustic liners]. *Vestnik of Samara State Aerospace University*, 2011, no. 3(27), pp. 55–64.

8. Farafonov, D. P., Migunov, V. P., Degovec, M. L., Aljoshina, R. Sh. Poristovoloknistyj metallicheskoj material dlja zvukopogloshhajushhih konstrukcij aviacionnyh GTD [Porous fibrous metal material for sound-absorbing structures of aircraft gas turbine engines]. *Trudy VIAM*, 2016, no. 4(40), pp. 3–12.

RESEARCH OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF ACOUSTIC LINERS FOR GAS TURBINE ENGINES

Yevhen Rymarenko

It is shown that the problem of aviation noise affecting the population near airports is still relevant. Pollution from aircraft noise is not a less influential factor than air or water pollution. The international community is paying close attention to tackling aviation noise by introducing requirements and noise limits for aircraft under development or in operation. Among the sources of aircraft noise, one of the main sources that should be singled out - the noise generated by gas turbine engines. Among the sources of noise of gas turbine engines should be noted to highlight the noise of the fan. To reduce the noise level of engines, various methods are used, among which should be noted the use of acoustic liners placed in the nacelles of the engine. To meet modern international requirements, acoustic liners must reduce the noise level in a wide frequency range. It is shown that there are several methods for determining the acoustic characteristics of acoustic liners: the standing wave method, the transfer function method, the reverberation chamber method, and the use of a flow-through acoustic channel. Each of these methods can be used in the stages of development of acoustic liners for gas turbine engines. It is shown that the standing wave method should be used at the initial stage of research, as it allows to determine the most promising acoustic liners for further research. This paper presents the results of research for six prototypes of acoustic liners. The measurement results of the prototypes were compared with the results of the measured design used to reduce the noise of the D-18T engine. Two prototypes should be distinguished among the prototypes. In the designs of the first group, noise reduction in various frequencies was achieved by the effect of viscous friction due to the holes in the filler cells as in porous fiber materials. In the designs of the second group, the expansion of the absorption frequency range was achieved due to the placement of cells with different resonant frequencies. Studies have shown that it is possible to create acoustic liners that absorb noise in a wide frequency range, so a prototype has a sound absorption coefficient of more than 0.8 in the frequency range from 1600 Hz to 3500 Hz.

Keywords: aviation noise; gas turbine engines; fan noise; acoustic liners; sound-absorption coefficient; standing wave method.

Римаренко Євген Олександрович – начальник відділу вібрації та акустики ДП "АНТОНОВ", Київ, Україна.

Yevhen Rymarenko – head of vibration and acoustic department of ANTONOV COMPANY, Kyiv, Ukraine, e-mail: acoustic.noise.civilian@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1789-9529.