



УДК 625.098
ГРНТИ 67.25.03

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ УРОВНЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА НА АЭРОДРОМАХ РАЗЛИЧНЫМИ ПРЕПЯТСТВИЯМИ

*Г.С. НАХМАНСОН, доктор технических наук, профессор
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
И.А. СУХОРИКОВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.О. ТЕКУТЬЕВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье изложены результаты анализа натуральных измерений уровня авиационного шума на аэродроме и прилегающих к нему территориях. Выявлены закономерности ослабления уровня авиационного шума различными препятствиями. Получены эмпирические аналитические соотношения для расчета ослабления уровня авиационного шума за рассматриваемыми препятствиями.

Ключевые слова: аэродром, авиационный шум, шумозащитные экраны, широкие экраны, зеленые насаждения.

THE AVIATION NOISE LEVEL ATTENUATION ANALYTICAL DESCRIPTION POSSIBILITIES ASSESSMENT AT AERODROMES DIFFERENT OBSTACLES

*G.S. NAHMANSON, Doctor of Technical Sciences, Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
I.A. SUHORUKOVA
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
V.O. TEKUT'EVA
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article presents the aircraft noise level full-scale measurements analysis results at the airport and adjacent territories. The regularities of aircraft noise level attenuation by various obstacles are revealed. Empirical analytical relations for the calculation of aircraft noise attenuation behind the considered obstacles are obtained.

Keywords: airfield, aircraft noise, noise screens, wide screens, green spaces.

Введение. Авиационный шум является одним из наиболее негативных факторов, воздействующих на инженерно-технический состав (ИТС), обеспечивающий обслуживание и эксплуатацию воздушных судов (ВС) на аэродромах. Особенно высокий уровень шума регистрируется во время производства полетов. Увеличение мощности двигателей самолетов привело к резкому возрастанию излучаемого ими шума во внешнюю среду и ухудшению акустического режима в окрестностях аэродромов.

Актуальность. Среди категорий лиц, подвергающихся воздействию авиационного шума на человека можно выделить три основные: 1) население, проживающее на приаэродромных территориях; 2) пассажиры, пользующиеся услугами воздушного транспорта; 3) инженерно-технический состав (ИТС), обслуживающий полеты ВС (воздушные суда). В [1] показано, что длительное нахождение в условиях воздействия авиационного шума на ИТС приводит к сниже-



нию его физической и умственной работоспособности. Поэтому значимость защиты от авиационного шума ИТС, связанного с эксплуатацией авиационной техники актуальна.

Несмотря на то, что борьбе с шумом уделяется значительное внимание с зарождения авиации, по-прежнему в качестве защиты от шума используют в качестве методов ослабления шума экраны, зеленые насаждения. В частности, при строительстве новых аэродромов основное внимание уделяется данным типам препятствий.

Кроме того, в 2017 году принят Федеральный закон №135-ФЗ [2] «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования порядка установления и использования приаэродромной территории и санитарно-защитной зоны», требующий снижения авиационного шума различными препятствиями на аэродромах. Раздражающее воздействие шума на человека зависит от его интенсивности, спектрального состава и продолжительности воздействия.

Известно, что уровень шума ослабляется различными препятствиями: экранами, насаждениями, постройками и т.д. Использование препятствий для снижения уровня шума требует знания количественных характеристик ослабления уровня шума этими препятствиями в зависимости от дальности нахождения источника шума относительно препятствий и его регистратора. Математический аппарат, необходимый для теоретических расчетов характеристик ослабления уровня шума различными препятствиями, является достаточно сложным. Поэтому для проведения практических расчетов более удобным является использование эмпирических расчетных соотношений, получение которых возможно на основе обработки экспериментальных данных.

Целью работы является получение эмпирических соотношений для описания ослабления уровня авиационного шума различными препятствиями на основе обработки экспериментальных данных.

Для получения эмпирических формул по ослаблению авиационного шума различными препятствиями были проведены экспериментальные замеры уровня авиационного шума в различных точках аэродрома при проведении полетов ВС. Замеры уровня шума проводились с помощью приборов ВШВ-003-М2 и testo 816. Измеритель шума размещался на высоте 1,5 м относительно земной поверхности на расстоянии 2 м от плоскости размещения препятствия.

Ошибка измерений, с помощью которых проводились замеры, не превышала 5 %. На основании результатов измерений была сформирована база данных, содержащая 40000 замеров. Для обработки экспериментальных данных была разработана программа формирования эмпирических зависимостей ослабления интенсивности шума за защитными препятствиями на основании методов аппроксимации и наименьших квадратов [6].

Ослабление авиационного шума с помощью экранов. Зависимости ослабления уровня авиационного шума экраном от угла отклонения относительно нормали к земной поверхности при взлете и посадке ВС представлены соответственно на рисунках 1, 2. Результаты приведены для различных дальностей размещения экрана относительно источника звука. Кривые 1 соответствуют дальности 250 м, кривые 2 – 500 м, кривые 3 – 750 м, кривые 4 – 1000 м, кривые 5 – 1250 м, кривые 6 – 1500 м, кривые 7 – 1750 м, кривые 8 – 2000 м.

Из поведения кривых на рисунках 1, 2 видно, что снижение уровня регистрируемого шума за экраном заметно снижается с увеличением дальности экрана относительно источника звука. Ослабление уровня шума за защитным экраном зависит также от угла его наклона. Максимальное снижение уровня звука наблюдается при перпендикулярном положении экрана к направлению распространению звука. С увеличением угла наклона экрана ослабление уровня звука уменьшается.

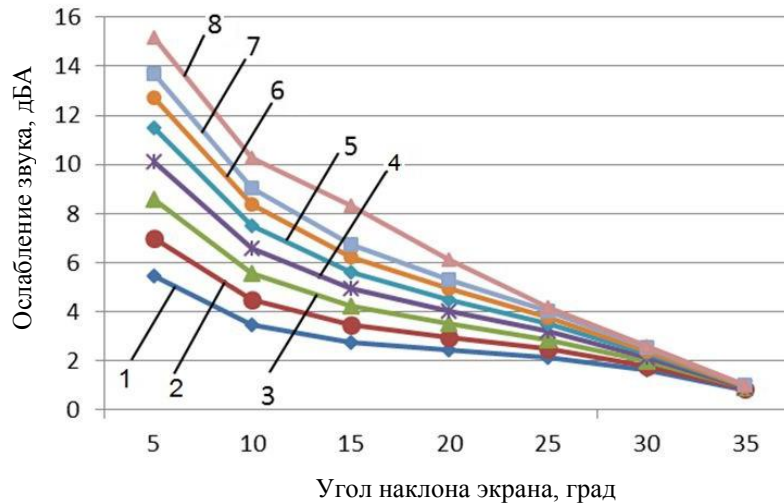


Рисунок 1 – Снижение интенсивности шума за экраном при взлете ВС

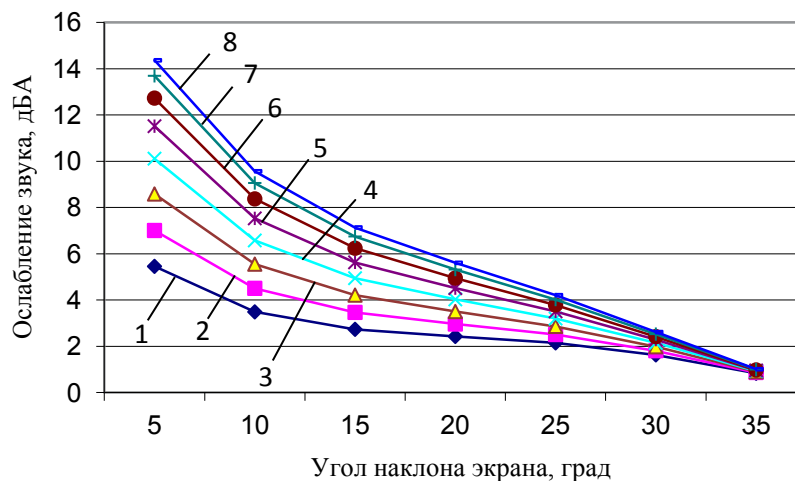


Рисунок 2 – Снижение интенсивности шума за экраном при посадке ВС

Выражение, описывающее ослабление интенсивности шума защитными экранами, можно представить в виде [6]:

$$y = b_0 + b_1 Q + b_2 \ell + b_3 Q^2 + b_4 Q \ell + b_5 \ell^2 + b_6 Q^3 + b_7 Q^2 \ell + b_8 Q \ell^2 + b_9 \ell^3, \quad (1)$$

где Q – угол падения звукового поля на экран относительно земной поверхности (угол между направлением распространения звукового поля в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости размещения экрана), ℓ – расстояние от источника звука до экрана, м; $b_1, b_2, b_3 \dots b_8$ – рассчитываемые коэффициенты.

Выражения для зависимостей снижения интенсивности звука защитным экраном при взлете и посадке ВС от угла наклона экрана при различных дальностях размещения его от источника звука, полученное на основании экспериментальных данных с помощью [6] программы записываются соответственно следующим образом:



$$y_{взл} = 1,60325 - 0,0616601 \times Q + 0,000717229 \times l + 0,0036554 \times Q^2 - \\ - 0,0000153464 \times Q \times l + 0,00000154849 \times l^2 + 0,0000799467 \times Q^3 - \\ - 0,000000154211 \times Q^2 \times l + 0,0000000429837 \times Q \times l^2, \quad (2)$$

$$y_{нос} = 1,58812 - 0,0614087 \times Q + 0,007272 \times l + 0,00378819 \times Q^2 - \\ - 0,000171074 \times Q \times l + 0,00000152957 \times l^2 + 0,000825454 \times Q^3 - \\ - 0,000000168977 \times Q^2 \times l + 0,0000000470899 \times Q \times l^2, \quad (3)$$

где в (1) и (2) Q – угол падения звукового луча на экран, град.; l – расстояние от точки нахождения до источника шума, м.

Ослабление шума на аэродроме посадками зеленых насаждений. Исследование возможности снижения шума с помощью нешироких полос зеленых насаждений на приаэродромных территориях представлены на рисунках 3–8. Измерения проводились при следующих видах посадок:

- однорядная посадка тополя пирамидального с кустарником высотой 1,2 метра (летом, зимой);
- двухрядная посадка тополя пирамидального с кустарником высотой 2,0 метра (летом, зимой);
- двухрядная посадка тополя берлинского в шахматном порядке с одним рядом кустарника высотой 1,2 метра (летом, зимой);
- снижение шума кустарником высотой 2,0 метра (летом, зимой).

Выражение для описания ослабления интенсивности звукового шумового поля «у» линиями зеленых насаждений (деревьями, кустарниками) в общем случае можно представить [6]:

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2, \quad (4)$$

где x – расстояние от источника шума до препятствия в метрах; c_0 , c_1 и c_2 – коэффициенты, рассчитываемые на основании экспериментальных данных.

Исследование возможности снижения шума с помощью нешироких полос зеленых насаждений на приаэродромных территориях представлены на рисунках 3–4 зависимости ослабления мощности авиационного шума соответственно однорядной и двухрядной посадками пирамидальных тополей с кустарником от дальности источника шума для зимнего периода.

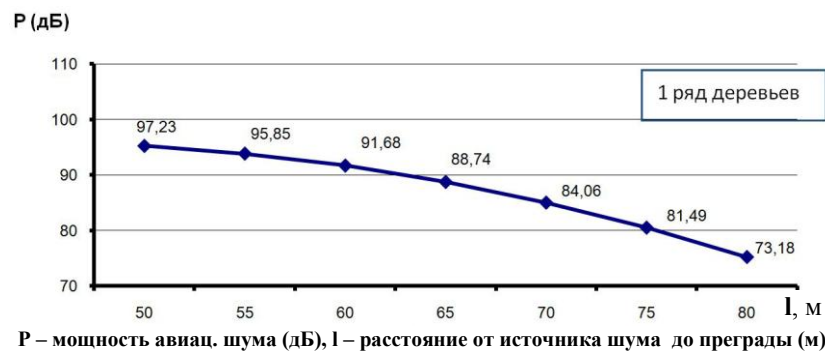


Рисунок 3 – Снижение уровня авиационного шума одним рядом деревьев в зимний период

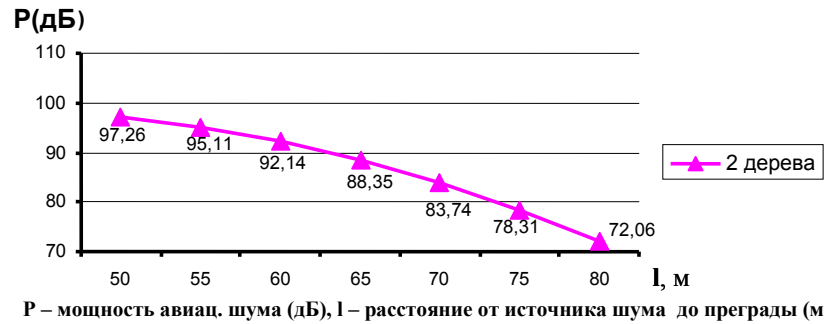


Рисунок 4 – Снижение уровня авиационного шума с 2 рядами деревьев в зимний период

Из графиков 3, 4 видно, что в зимний период наличие зеленых насаждений снижает уровень авиационного шума на 3–4 дБА при однорядной посадке деревьев (с кустарником). При двухрядной посадке зеленых насаждений уровень шума снижается на 4–6 дБ.

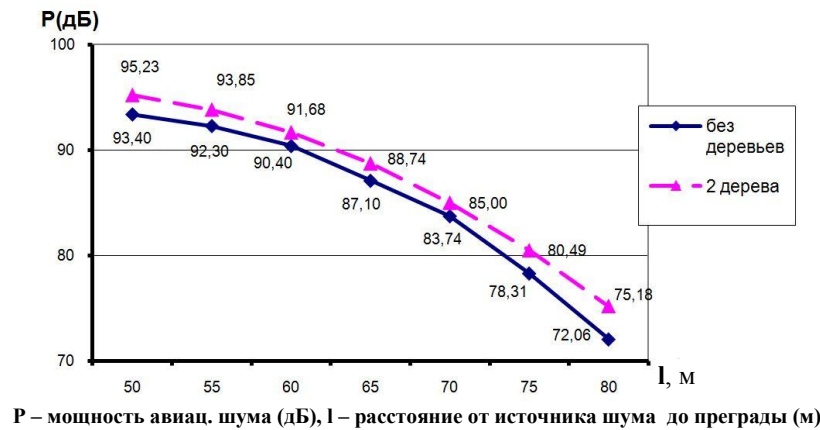


Рисунок 5 – Снижение уровня авиационного шума в зимний период

Из представленных зависимостей на рисунке 6 показано снижение уровня шума при однорядной и двухрядной посадках тополей в летний период.

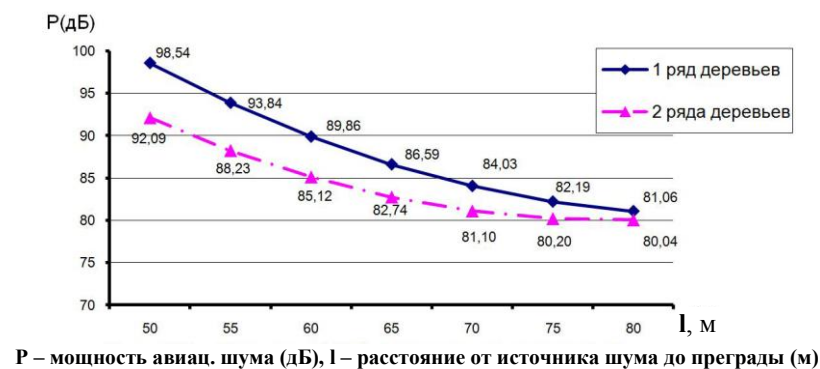


Рисунок 6 – Снижение уровня авиационного шума в летний период (1–2 ряда деревьев)

Выражения, описывающие снижение авиационного шума зелеными насаждениями на основе аппроксимации [5] для одного и двух рядов деревьев в зимний период:

$$P = 150,25 - 1,56439x + 0,08025x^2, \quad (4)$$



$$P = 73,5521 + 1,29532x - 0,016425x^2. \quad (5)$$

Выражения, описывающие ослабление уровня авиационного шума однорядной и двухрядной посадками деревьев с кустарником в летний период записываются соответственно, как:

$$P = 171,379 - 2,32571x + 0,0148708x^2, \quad (6)$$

$$P = 164,837 - 1,87802x + 0,0090375x^2. \quad (7)$$

Видно, что в летнее время наличие зеленых насаждений снижает уровень авиационного шума на 6–8 дБА при двухрядной посадке деревьев. В результате анализа рисунков можно сделать вывод о том, что чем шире шумозащитная полоса, тем лучше ее шумозащитный эффект, высота кустарника при этом должна закрывать подкрановое пространство (высота кустарника до 1,1–1,3 метра), большая высота кустарника не целесообразна. Анализ зависимостей показал, что снижение уровня шума отличается, как в летний, и в зимний периоды. Следует отметить, что регрессионные уравнения, описывающие этот процесс имеют один и тот же параболический вид. В среднем уменьшение происходит на 1 дБА при удалении на 10 метров от источника шума. Замеры сделаны на расстоянии до 80 метров от источника шума. В зимний период абсолютная величина звука больше на 1–2 дБА, чем в летний.

На рисунке 7 показана зависимость снижения уровня авиационного шума одним и двумя кустарниками высотой 2 м для летнего времени.

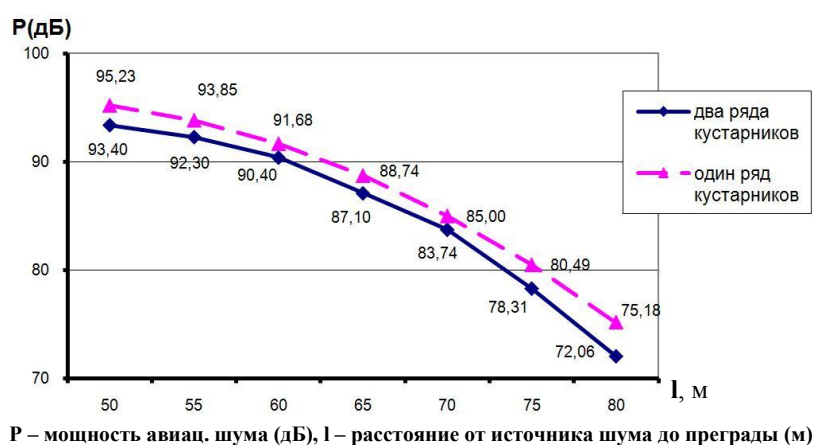


Рисунок 7 – Снижение авиационного шума кустарником в летний период

Из графика видно, что ослабление звука с помощью кустарника, где снижение уровня звука составляет 4–5 дБА.

Из поведения зависимостей ослабления уровня шума видно, что как и для других препятствий ослабление увеличивается при удалении источника шума от посадок кустарника. Кроме того независимо от дальности при использовании двухрядных посадок кустарника уровень шума ослабляется в среднем на 5 дБ.

Зависимость уровня авиационного шума от дальности авиационного источника за рядами посадки кустарника определяется выражением:

$$P = 80,979 - 0,022399x - 0,00289583x^2, \quad (8)$$



где x – расстояние от источника звука до посадок лесонасаждений и кустарника; P – снижение уровня звука, дБА.

$$P = 68,6549 + 0,528237x + 0,00731667x^2, \quad (9)$$

для летнего периода 2 ряда кустарника.

Для сравнения из графика рисунке 7 видно, что ослабление звука с помощью кустарника, где снижение уровня звука составляет 8–10 дБА.

Ослабление шума на аэродроме зданиями. Рассмотрим снижение авиационного шума на приаэродромных территориях с помощью зданий и сооружений. Как правило, на аэродроме все здания не превышают по высоте 5 м. По рассмотренной нами схеме здания находились на расстоянии 8 м от точки наблюдения и 1500 м от ВПП (взлетно-посадочной полосы).

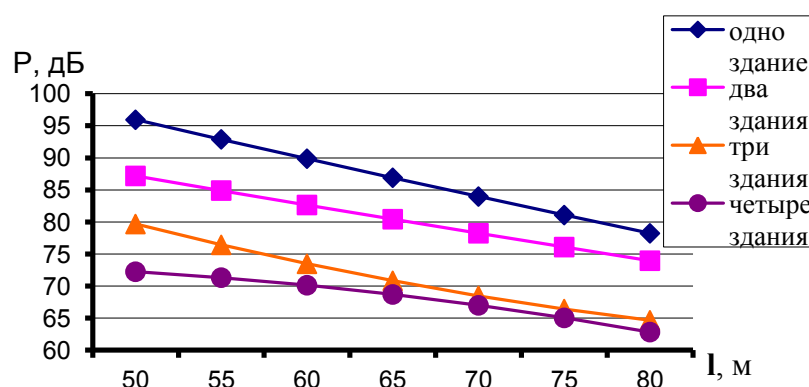


Рисунок 8 – Снижение авиационного шума за зданиями

Зависимости влияния на распространение авиационного шума представлены от преград в виде зданий:

$$P = 128,774 - 0,697748x + 0,000825x^2, \quad (10)$$

$$P = 111,7 - 0,521026x + 0,00061666x^2, \quad (11)$$

$$P = 128,713 - 1,2805x + 0,006x^2, \quad (12)$$

где x – расстояние от источника звука до зданий и сооружений; P – снижение уровня звука, дБА.

Полученные данные позволяют получить графики по снижению авиационного шума за зданиями и сооружениями. В отмеченных точках результаты расчета совпадают с экспериментальными данными.

Выводы. На основании анализа экспериментальных данных снижения уровня авиационного шума различными препятствиями, получены аналитические соотношения. Выявлены закономерности ослабления уровня авиационного шума различными препятствиями. Полученные выражения позволяют оценивать снижение уровня авиационного шума в зависимости от дальности размещения препятствий относительно шумового источника.

По проведенному анализу влияния различных препятствий на распространение авиационного шума можно сделать заключение о высокой значимости и адекватности синтезированной модели и возможности ее использования в условиях аэродромного комплекса.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатов С.К., Кукушкин Ю.А., Зинкин В.Н. и др. Методическое обеспечение оценивания и прогнозирования работоспособности операторов, подвергающихся воздействию авиационного шума // Безопасность жизнедеятельности. 2006. № 4. С. 11–20.
2. Федеральный закон №135-ФЗ О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования порядка установления и использования приаэродромной территории и санитарно-защитной зоны. Москва. 2017. 11 с.
3. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. СН 2.2.4 / 2.1.8.562 96.
4. ГОСТ 22283-2014. Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения [Текст]. Введен с 15.01.2015. – М. Стандартиформ. 2014. 12 с.
5. Осипов Б.Г., Прутков И.А., Шишкин И.А. и др. Градостроительные меры борьбы с шумом. М.: Стройиздат. 1985. 215 с.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа. 1988. 239 с.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2009610673 от 29.01.2009 «Моделирование на местности максимальных уровней звука реактивных и винтовых самолетов» И.А. Сухорукова, С.Г. Данелия, О.М. Иванова.
8. Сухорукова И.А., Нахмансон Г.С. Оценка эффективности уровня авиационного шума на аэродроме защитным экраном // Труды XIV Международной научно-практической конференции Кибернетика и высокие технологии XXI века. Т. 2. Воронеж. 2013. С. 231–236.

REFERENCES

1. Soldatov S.K., Kukushkin Yu.A., Zinkin V.N. i dr. Metodicheskoe obespechenie ocenivaniya i prognozirovaniya rabotosposobnosti operatorov, podvergayuschihsy vozdejstviyu aviacionnogo shuma // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2006. № 4. pp. 11–20.
2. Federal'nyj zakon №135-FZ O vnesenie izmenenij v otдел'nye zakonodatel'nye akty RF v chasti sovershenstvovaniya poryadka ustanovleniya i ispol'zovaniya pria`erodromnoj territorii i sanitarno-zaschitnoj zony. Moskva. 2017. 11 p.
3. Shum na rabochih mestah, v pomescheniyah zhilyh, obschestvennyh zdaniy i na territorii zhiloy zastrojki. Sanitarnye normy. SN 2.2.4 / 2.1.8.562 96.
4. GOST 22283-2014. Shum aviacionnyj. Dopustimye urovni shuma na territorii zhiloy zastrojki i metody ego izmereniya [Tekst] Vveden s 15.01.2015. – M. Standartinform. 2014. 12 p.
5. Osipov B.G., Prutkov I.A., Shishkin I.A. i dr. Gradostroitel'nye mery bor'by s шумом. М.: Strojizdat. 1985. 215 p.
6. L'vovskij E.N. Statisticheskie metody postroeniya `empiricheskikh formul: Ucheb. posobie dlya vtuzov. -M.: Vysshaya shkola. 1988. 239 p.
7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy №2009610673 ot 29.01.2009 «Modelirovanie na mestnosti maksimal'nyh urovnej zvuka reaktivnyh i vintovyh samoletov» I.A. Suhorukova, S.G. Daneliya, O.M. Ivanova.
8. Suhorukova I.A., Nahmanson G.S. Ocenka `effektivnosti urovnya aviacionnogo shuma na a`erodrome zaschitnym `ekranom // Trudy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Kibernetika i vysokie tehnologii XXI veka. T.2. Voronezh. 2013. pp. 231–236.

© Нахмансон Г.С., Сухорукова И.А., Текутьева В.О., 2019



Нахмансон Геннадий Симонович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник 12 отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Сухорукова Ирина Анатольевна, научный сотрудник 24 отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, i.sukhorukova@yandex.ru.

Текутьева Вероника Олеговна, научный сотрудник 12 отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vk150191@mail.ru.