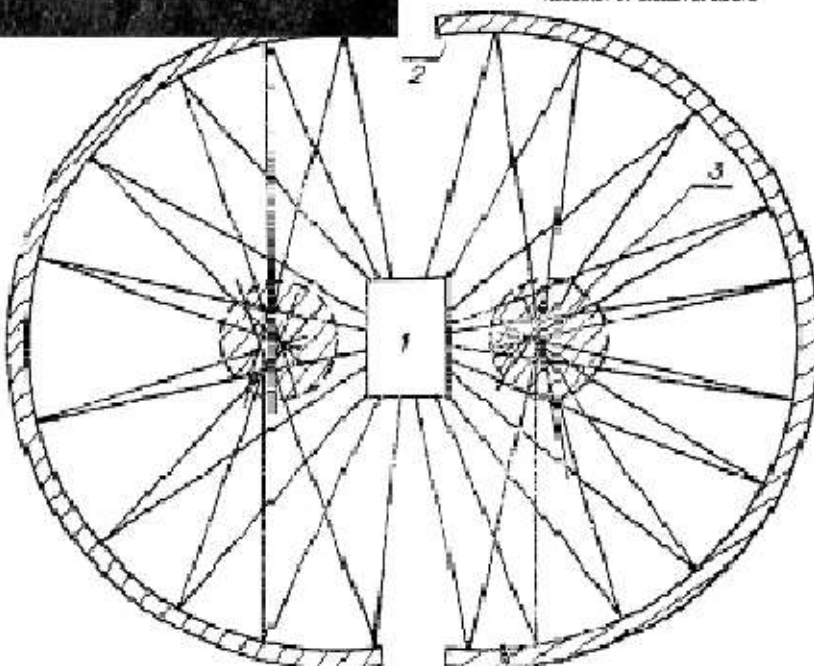
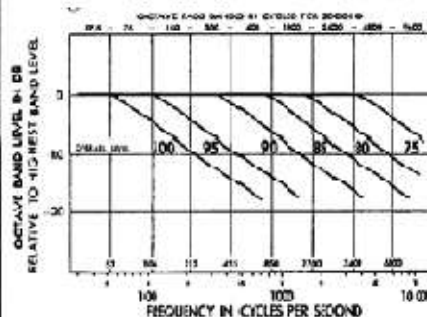
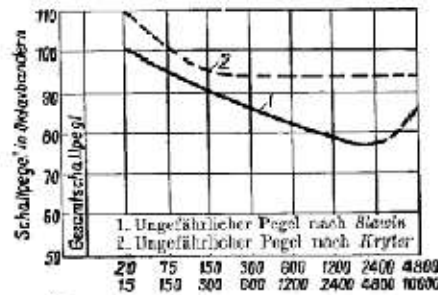


Noise

Theory and Practice

Scientific Journal



II
2020

Редакционная коллегия

Главный редактор

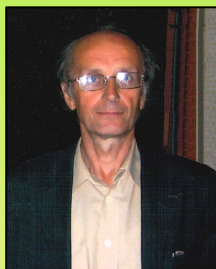
Иванов Николай Игоревич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова, заслуженный деятель науки РФ (г. Санкт-Петербург, РФ)

Заместитель главного редактора

Курцев Геннадий Михайлович



Кандидат технических наук, профессор кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Члены редакционной коллегии

Дроздова Людмила Филипповна



Кандидат технических наук, профессор кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Заплетников Игорь Николаевич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования пищевых производств Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барананского (г. Донецк, Украина)

Элеонора Карлетти



Директор Института сельскохозяйственной и землеройнотранспортных машин (IMAMOTER-CNR) и руководитель исследовательской группы IMAMOTER, работающей в предметной области акустики и вибрации (г. Феррара, Италия)

Серджио Луцци



Профессор и лектор в Университете Флоренции. Руководитель Курса "Акустика и контроль транспортного шума" в UNISER в Италии г.Пистойя (г. Флоренция, Италия)

Тюрин Александр Павлович



Доктор технических наук, профессор кафедры "Техносферная безопасность", зам. начальника Управления научно-исследовательских работ ФГБОУ ВПО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова" (г. Ижевск, РФ)

Васильев Андрей Витальевич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Химическая технология и промышленная экология" Самарского государственного технического университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ (г. Самара, РФ)

Тупов Владимир Борисович



Доктор технических наук, профессор кафедры "Тепловые электрические станции" Национального исследовательского университета "Московский энергетический институт" (г. Москва, РФ)

Цукерников Илья Евсеевич



Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института строительной физики, профессор Московского государственного университета печати имени Ивана Федорова (г. Москва, РФ)

Шашурин Александр Евгеньевич



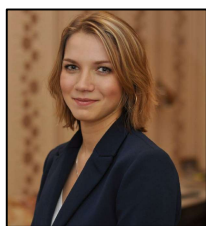
Доктор технических наук, декан факультета "Е" Оружие и системы вооружения, профессор кафедры "Экология и БЖД" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Тюрина Наталья Васильевна



Доктор технических наук, руководитель службы главного инженера ЗАО "Институт "Трансэкопроект" (г. Санкт-Петербург, РФ)

Рассошенко Юлия Сергеевна



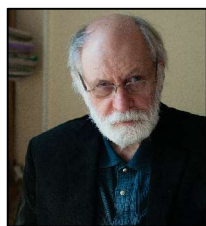
Кандидат технических наук, доцент кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Дэвид Копли



Сертифицированный член совета Института технологий по контролю за шумом, член совета Института технологий по контролю за шумом, руководитель группы инженеров по борьбе с шумом в техническом центре Caterpillar (г. Пеория, США)

Емельянов Владислав Николаевич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Плазмогазодинамика и теплотехника» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Editor-in-chief

Nickolay Ivanov



Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Department 'Ecology and life safety' of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov, Honored Scientist of the Russian Federation (St. Petersburg, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Gennadiy Kurzev



Ph.D. of Engineering Science, Professor of Environment and Safety chair of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov (St.Petersburg, Russia)

Members of the Editorial Board

Lyudmila Drozdova



Ph.D. of Engineering Science, Professor of Environment and Safety chair of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

Igor Zapletnikov



Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Department of Food production equipment of the Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky (Donetsk, Ukraine)

Eleonora Carletti



Director of the Institute of Agricultural and Earth-Moving Machinery (IMAMOTER-CNR) and leader of the IMAMOTER Research Group working in the Acoustics and Vibration subject area (Ferrara, Italy)

Sergio Luzzi



Contract Professor and Lecturer at the University of Florence. Honorary Visiting Professor at USURT University of Ekaterinburg. Visiting Lecturer at the School of Architecture of the Royal College of Art in London (Florence, Italy)

Alexander Tyurin



Doctor of Engineering Science, Professor of Technosphere Safety Department, Deputy Head of Research and Development Office of the FSBEI HPO 'Izhevsk State Technical University' named after M.T.Kalashnikov (Izhevsk, Russia)

Andrey Vasilyev



Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Chemical technology and industrial ecology chair of the Samara State Technical University, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored ecologist of the Samara region (Samara, Russia)

Vladimir Tupov



Doctor of Engineering science, Professor of the 'Thermal power plants' Department of the National Research University 'Moscow Power Engineering Institute' (MPEI) (Moscow, Russia)

Ilya Tsukernikov



Doctor of Engineering Science, Professor, Chief Researcher at the Research Institute of Construction Physics, Professor of the Moscow State University of Printing Arts named after Ivan Fyodorov (Moscow, Russia)

Aleksandr Shashurin



Doctor of Engineering Science, Dean of the E faculty 'Weapons and weapons systems', Professor of Environment and Safety chair, Leading Researcher of the Scientific Research Unit of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

Natalya Tyurina



Doctor of Engineering Science, Head of the Chief Engineer's office of JSC 'Institute 'Transekoproekt' (St. Petersburg, Russia)

Iuliia Rassoshenko



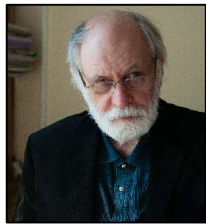
Ph.D. of Engineering Science, Senior Researcher of the Scientific Research Unit, Assistant Professor of Environment and Safety chair of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

David Copley



Board-Certified member of the Institute of Noise Control Engineering, member of the Society of Automotive Engineers Acoustical Materials committee, a team leader in a group of noise control engineers at Caterpillar's Technical Center (Peoria IL, USA)

Vladislav Emelyanov



Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Plasma Gas Dynamics and Thermal Engineering Department of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

Научный журнал

Том 6 №2

Учредитель

Общество с ограниченной ответственностью
"Институт акустических конструкций" (ООО "ИАК")
при БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова

Сетевой Научный Журнал 'Noise Theory and Practice'

выпускается с 2015 г.

Основателем Журнала является
д.т.н., профессор, зав. кафедрой
"Экология и безопасность
жизнедеятельности"
Балтийского государственного
технического университета
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
основатель транспортной
акустики в России -
Иванов Николай Игоревич.

"Noise Theory and Practice"
посвящен фундаментальным
проблемам в области
виброакустики и принимает
работы по направлениям:
- 29.00.00 Физика
- 29.37.00 Акустика
- 43.00.00 Общие и комплексные
проблемы естественных и
точных наук
- 87.00.00 Охрана окружающей
среды. Экология человека

Все статьи, поступающие в
редакцию, проходят
обязательное рецензирование.
Журнал является открытым
сетевым ресурсом и издается
с периодичностью четыре раза
в год.

Фактический адрес редакции

Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Промышленная, д.19, лит. Р,
оф. 444
+7 (812) 500-08-26
www.noisetp.com
e-mail: noise.science@gmail.com
Ответственный секретарь
Рассошенко Ю.С.

Зарегистрировано в Федеральной
службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций

Свидетельство

ЭЛ № ФС 77-74057

Содержание

Montano W.A.

АНГЛ

И. И. Славин - забытый российский акустик,
который в 1956 году определил первые предельные
уровни шума для рабочих мест
стр. 07-17

Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В., Халяпина С.С.

РУС

Звукозащитные свойства винтовой вставки в
воздуховодах вентиляции
стр. 18-27

Канев Н.Г.

РУС

Собственные частоты колебаний пластины
на упругом основании винклеровского типа
стр. 28-35

Цветков А.И.

РУС

Аэроакустика промышленной аэродинамической
трубы АТ-11: методика измерения инфразвуковых
пульсаций давления
стр. 36-48

Буторина М.В.

РУС

Классификация аэропортов по уровням шума и
разработка шумозащитных мероприятий
стр. 49-62

Шашурин А.Е., Лубянченко А.А., Гогуадзе М.Г.

РУС

Эффективность мероприятий по снижению шума
расточного и осетокарных станков
стр. 63-68

Лебедев О.А., Элькин Ю.И.

РУС

Влияние на уровни транспортного шума и
выбросов мероприятий по повышению
эффективности использования наземного
транспорта в г. Московский
стр. 69-76

The Online Scientific Journal 'Noise Theory and Practice'

has been published since 2015.
The founder of the journal
is Nikolay Igorevich Ivanov,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor, Head of 'Environmental
studies and health and safety'
department of the Baltic State
Technical University 'VOENMEH'
named after D. F. Ustinov, the
founder of the transport acoustics
in Russia.

'Noise Theory and Practice'
is devoted to the fundamental
problems in the field of
vibroacoustics and accepts papers
in the following areas:
- 29.00.00 Physics
- 29.37.00 Acoustics
- 43.00.00 General and complex
issues of natural and exact sciences
- 87.00.00 Environmental protection.
Human ecology.

All articles submitted to the
editorial office are subject
to mandatory review. The journal
is an open network resource
and published four times a year.

Location address of the Editorial office

19 building 'R' Promyshlennaya str.,
office 444

+7 (812) 500-08-26

www.noisestp.com

e-mail: noise.science@gmail.com

Executive Secretary

Rassoshenko Iuliia

Journal is registered in Federal
service for supervision of
communications, information
technology, and mass media

The certificate of registration

ЭЛ № ФС 77-74057

Contents

Montano W.A.

ENG

I. I. Slavin the forgotten Russian acoustician who
defined in 1956 the noise levels limits for
workplaces the first in world practice
p. 07-17

Murzinov V. L., Murzinov P. V., Murzinov Yu. V., Halyapina S. S.

RUS

Sound protection properties of a screw insert in
ventilation ducts
p. 18-27

Kanev N.G.

RUS

Eigenfrequencies of a plate on a Winkler elastic
foundation
p. 28-35

Tsvetkov A.I.

RUS

Aeroacoustics of industrial wind tunnel AT-11:
method of measurement of infrasound
pressure pulsations
p. 36-48

Butorina M.V.

RUS

Classification of airports by noise levels and
noise protection measures
p. 49-62

Shashurin A.E., Lubianchenko A.A., Gogvadze M.G.

RUS

Noise mitigation measures efficiency for boring
and axle lathe machines
p. 63-68

Lebedev O.A., Elkin Y.I.

RUS

Impact on the levels of traffic noise and
emissions of measures to improve the efficiency
of land transport in Moscovski town
p. 69-76

UDC: 534; 331.45

OECD: 01.03.AA; 10.63.49

I. I. Slavin the forgotten Russian acoustician who defined in 1956 the noise levels limits for workplaces the first in world practice

Montano W.A.*

Director, ARQUICUST Acoustic in situ Measurement Laboratory, Gualeguaychu, Argentina

Abstract

Ilya Ilyich Slavin was an important Russian acoustician in 1949-1959 decade; he defended his Thesis in 1940 and during the war he worked as a senior researcher at the Acoustics Laboratory of the Physics Institute named after P.I. Lebedev Academy of Sciences of the USSR. In 1948 he returned to Acoustics Laboratory of the Leningrad Institute of Labor Protection of the All-Union Central Council of Trade Unions (LIOT), where he developed his career and became an outstanding specialist in the field of noise control. This article presents Slavin's most influential work, he is the one which developed and scientifically substantiated the noise limits for workplaces, and he outlined the first noise level references curves in different frequency intervals that in February 1956 the USSR have legally introduced them. Slavin presented at XII International Congress of Occupational Health (Helsinki, 1957), that normative and later in 1959, his work became worldwide known.

Keywords: Occupational noise, standards, noise limits, audibility, history of science.

И. И. Славин - забытый российский акустик, который в 1956 году определил первые предельные уровни шума для рабочих мест

Монтано В.А.*

Директор, Лаборатория натурных акустических измерений ARQUICUST, г. Гуалегуайчу, Аргентина

Аннотация

Илья Ильич Славин был важным русским акустиком в 1949-1959 гг.; защитил диссертацию в 1940 году, а во время войны работал старшим научным сотрудником в лаборатории акустики Физического института им. П.И. Академия наук Лебедева СССР. В 1948 году он вернулся в Акустическую лабораторию Ленинградского института охраны труда Всесоюзного центрального совета профсоюзов (ЛИОТ), где развивал свою карьеру и стал выдающимся специалистом в области борьбы с шумом. В этой статье представлена наиболее влиятельная работа Славина, он разработал и научно обосновал пределы шума для рабочих мест, и он наметил первые эталонные кривые уровня шума в разных частотных интервалах, которые в феврале 1956 года СССР официально ввел их. Славин представил на XII Международном конгрессе гигиены труда (Хельсинки, 1957), что нормативно, а позднее, в 1959 году, его работы стали всемирно известными.

Ключевые слова: Профессиональный шум, стандарты, пределы шума, слышимость, история науки.

*E-mail: wmontano@arquicust.com (Montano W.A.)

Introduction

The *History of Science* is an important branch to every scientific discipline, because it is a tool to study and understand the development of empirical, theoretical, and practical knowledge about them. The *History of Science* is most common to find in social studies field, but it is a big support for the engineering field, where the research was conducting for philosophers at the beginning and lately, the *History of Science*, is becoming a specialization inside each engineering area individually.

Talking about the Acoustics field, there are plenty of works concerning the *History of Science* research, and an important event took place in the last International Congress on Acoustics in Aachen ICA2019: A special Session on ‘Modern history of acoustics’ has been introduced (promoted by Max Planck Institute for the History of Science), being this event the starting point between this two disciplines.

This article has been written using the few documents and references that are free in Internet and which are available from Argentina (it is well-known that web search engines not always display all the information): five of them are into Russian, one into German, and the rest are into English.

This article is a contribution to the *History of Science* where the works of I. I. Slavin are commented: He was a Russian researcher into acoustics field who defined scientifically the noise level limits at workplaces, the first in world practice.

Slavin presented a *noise limits curves* at ISO/TC43 Group, in order to develop an international standard, and also the former German Democratic Republic (and the other ex-Communist countries), implanted that noise references for its occupational legislation.

Slavin was responsible and Chairman of some Acoustical Congress which took place in Russia, and he participated at XII International Congress of Occupational Health (Helsinki, 1957) where he presented ‘*Tentative Standards and Regulations for Restricting Noise in Industry,*’ and lately it was published posthumously in 1959 in ASA Noise Control magazine.

1. Early days of Slavin’s life

At the moment of writing this article, the only reference about Slavin’s life is the Obituary published a few months after his death, in Journal of Acoustics of Russian Acoustical Society (Акустический Журнал):

Ilya Ilyich Slavin was born in 1912. In 1935 he graduated from the Faculty of Physics and Mechanics Leningrad Polytechnic Institute, where he later taught and scientific work. In 1940, Slavin defended his thesis, after which he headed the Laboratory for the Suppression of Industrial Noise of the Leningrad Institute of Labor Protection of the All-Union Central Council of Trade Unions (LIOT). [1]

The following picture of Slavin is in that Obituary and it is not dated.



Fig. 1. Ilya Ilyich Slavin (1912-1959)

2. The acoustic work of Slavin during the World War II

There are briefly references about the Slavin participation when he was working, during the World War II, at *Acoustic Laboratory* in the Atomic Nuclear Laboratory of the Lebedev Physical Institute.

Scientists of the Acoustic Laboratory and the Atomic Nuclear Laboratory of the Lebedev Physical Institute, evacuated to Kazan in July 1941, from the first days of the evacuation began to look for applications of their knowledge in solving acoustic problems that could be useful to the front. [2]

Vladimir Iosifovich put forward the idea of improving acoustic means for detecting noise sources by replacing the operator with an electronic device - a two-channel objective detector - direction finder, based on the method of matching signals from several sensors, widely used in elementary particle physics. [3]

Talking about specifically on Slavin work:

I. I. Slavin worked as a senior researcher at the Acoustics Laboratory of the Physics Institute [1]

At the beginning of 1942, Sukharevsky was sent to Moscow to establish contacts with military organizations in the field of defense applications of acoustics, he was sent to the command of the air defense forces with the order to assist in the improvement of horn sound absorbers for detecting the noise of aircraft and pointing anti-aircraft guns on them, and above all with the task of protecting the horns from aerodynamic interference, which made sound catchers in windy conditions almost inoperative. When in 1942 full-scale studies of sound catchers conducted in the western region of Moscow's air defense (the engineers of the acoustic laboratory were I.P. Zhukov and I.I. Slavin). [3]

In the spring of 1942, a group led by Sukharevsky, the Acoustic Laboratory staffs, Zhukov and I.I. Slavin, were carried out in the Western part of the Moscow air defense ring in the vicinity of Art. Kubinka, they worked on the study and improvement of sound pickup aircraft noise. In particular, the noise immunity of the receiving horns of sound absorbers to

wind noise was studied, which led to a significant decrease in the detection range of targets. [2]

3. Slavin's publications, books, Papers, patents

There is one isolated data about Slavin work during 1946-1947, that he '*... attempts were made to apply materials with large losses for damping vibrations of metal structures*' [4], this publication of 1967 is a summary of 50 years' Soviet acoustics; according to himself he contribute to develop, to design and improve some noise level meter devices [5].

3.1. Books and Papers published by Slavin

The following list lists the titles of his Technical papers and books that were written by Slavin (of those available on the Internet).

- a) Izv. AN USSR, Vol. XIII, 1949, p.6.
- b) Silencers for mine pneumatic engines. M., Ugletekhizdag, 1952.
- c) Objective noise measurements with a loudness scale. Tr. Comis. Acoustics, Academy of Sciences of the USSR, 1953.
- d) Industrial noise and its control (Производственный шум и борьба с ним) 1955.
- e) Norms and liked to limit noise in the workplace (project) LIOT, 1955; Temporary sanitary rules for limiting noise in the workplace (draft). Sat Tr. Scientific LIOT.
- f) Standards and rules for organizing noise in industry. Leningrad, 1955.
- g) The main tasks and ways of dealing with industrial noise. LIOT, 1955.
- h) Noise abatement on ships. Navy. LIOT, 1955.
- i) Temporary sanitary norms and rules for the limitation of noise in the workplace, 1956.
- j) Scientific conference on the fight against noise and the effects of noise on the body. Акустический Журнал, 1957.

3.2. Paper about Philosophy of Technology

The Slavin's scientific work is immeasurable, he wrote an interesting paper titled '*A summary of works on the study of noise and on the fight against noise in the USSR for the period before 1957*' (Краткий очерк работ по исследованию шумов и по борьбе с шумами в СССР за период до 1957 г.) [5], posthumously published in Journal of Acoustics of Russian Acoustical Society (Акустический Журнал), Slavin have wrote a brief review of Soviet work on the study of noise in the fight against them, he describes the evolution of the acoustics science in the USSR: The earlier research done by Russian physicians, the development of the first noise level meters, the use of sound absorbing materials, and so many historical issues; the conclusion of this paper is:

In conclusion, it should be noted that even our brief outline of Soviet work on the study of noise and finding methods to combat them shows that Soviet acoustics have done a lot and continue to expand work in this important area, where the results of studies of technical improvements are directly aimed at improving working conditions and rest of millions of citizens of our country. [5]

3.3. Industrial patent

There is a few data available in Internet about industrial patents, for Slavin case there is only one reference: '*The way to improve the acoustic properties of the room*' [6].



Fig. 2. The Slavin patented device for sound absorption (Edited from [6])

The device is a 'sound absorber panel,' here is a brief description of the patent:

Known methods for improving the acoustic properties of rooms using sound-absorbing material, such as bags of cotton, enclosed in boxes with perforated walls. The present invention relates to the same method of improving the acoustic properties of a room and aims to reduce the consumption of sound-absorbing material, aimed at reducing reverberation and attenuating the volume of the echo. In the described invention, this is achieved by using a concave surface, for example, of wood, fixing the sound, with the location in the place of concentration of sound energy of sound-absorbing material. [6]

According to the sketch and its explanation (see Fig. 2), the Slavin's acoustic device has to be installed 'between the unit emitting noise and the workers servicing this unit, such screens measuring 1.4 X 2 m reduced the intense hissing noise of air-jet devices from 116 dB (in front of the screen) to 102 dB (behind the screen)' [5].

4. Slavin and his proposal of having legal noise limits at workplaces

In the Slavin's paper mentioned above [5], he explains the study that they had done at LIOT and the previous one about the physiology of the inner ear and the human response to different noise levels. Slavin mentions the following:

A great influence on the development of noise control activities could be provided by scientifically sound legislation to limit industrial noise. Work in this direction was conducted by the LIOT laboratory. Based on an analysis of experimental data on the effect of noise on hearing and the general condition of people, as well as special studies conducted by the Laboratory, Slavin developed in 1954 a production noise standardization system, which was introduced in 1956 by the USSR Ministry of Health in as mandatory in the Soviet Union. [5]

It is important to highlight the year: 1956; this means that the ex-USSR was the first country in the world to legalize the maximum noise limits at industrial noisy places and non-noisy location workplaces. The original Slavin's Paper into Russian is not available on Internet yet, so the author has to use the CIA translation into English [7], and one article published in *Noise Control* magazine by Acoustical Society of America (ASA) in 1959 [8].

The amazing contribution that Slavin have done is the fact to define three frequencies intervals (see Fig. 3) to establish the industrial noise levels limits:

Table 1 Permissible Levels in Industry for Various Noises

Description of Noises	Permissible Sound Pressure Level, db re 0.0002 microbar	Description of Noises	Permissible Sound Pressure Level, db re 0.0002 microbar
1—Low-frequency noises (produced by non-percussive units of slow operating speed, noises penetrating through sound-proofing barriers, such as walls, ceilings, casings), whose highest levels in the spectrum are situated below a frequency of 300 cps, above which levels become lower (by no less than 5 db per octave)	90–100	3—High-frequency noises (ringing, hissing and whistling sounds characteristic of percussive units, air and gas streams, and units operating at high speeds) whose highest levels in the spectrum are situated above a frequency of 800 cps	75–85
2—Median-frequency noises (noises produced by most non-percussive machines, mills and plant units), whose highest levels in the spectrum are situated below a frequency of 800 cps, above which levels become lower (by no less than 5 db per octave)	85–90		

Fig. 3. Permissible noise levels defined by Slavin in 1954 (Edited from [8])

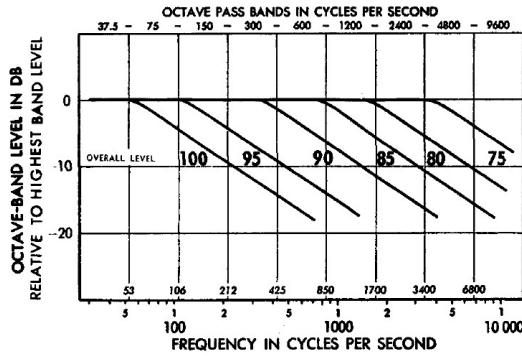


Fig. 1. Permissible noise levels for Soviet industry are set by this graph. Octave-band levels relative to the highest octave-band level are plotted on the chart. The resultant plot must not exceed by more than 3 db the standard curve corresponding to the measured overall sound pressure level relative to 0.0002 microbar.

Fig. 4. Permissible noise levels curves defined by Slavin in 1954 (Edited from [8])

This astonishing scientific proposal would have been revolutionary for the time it was proposed, and the most impressive thing is that Slavin have defined sound limits on low-frequencies range, it means he had account the auditory response in frequencies below 300 Hz (see Fig. 3), and not just ‘one single number;’ the table above was translated to a drawing as noise reference curves (see Fig. 4).

The curves in Fig. 4 are difficult to understand and they had to been simplified, as one can see the followings charts in Fig. 5.

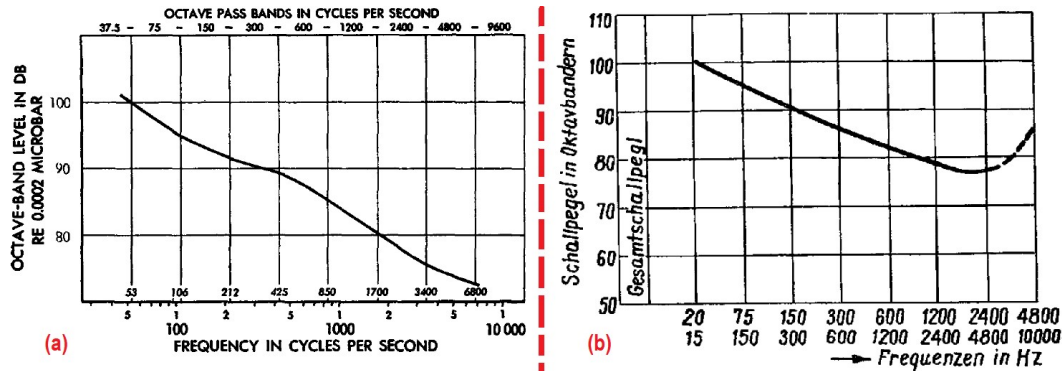


Fig. 5. (a) Curves into a familiar form [8] (b) Slavin noise limits (Edited from [9])

Chart in Fig. 5-b is known as ‘Slavin-curve,’ it was used in German literature [10] and it was mentioned in several US publications (it is impossible to mention all of them).

Reading the whole document [7] gives us the idea on how advanced was the studies about the noise impact on worker at industries in the USSR during the first half of 1950 decade (and studies about testing intelligibility of speech under noisy conditions); there are dozens of actual Russian publications that mention them.

Approved For Release 2008/12/10 : CIA-RDP80T00246A004500310001-7

**TENTATIVE SANITARY STANDARDS AND REGULATIONS
FOR RESTRICTING NOISE IN INDUSTRY**

I.I. Slavin.
APPROVED by Chief
Inspector of Health of
the USSR V. Zdanov.

A. Tentative Standards for Permissible Noise Levels in Industry

- 17 -

Appendix 4

TESTING INTELLIGIBILITY OF SPEECH UNDER NOISY CONDITIONS

Under given conditions of noise, an announcer (or an individual with good elocution) reads numbers of several (four or five) digits in a voice of normal loudness. Four or five listeners record these numbers at a distance of 1.5 meters from the announcer. If, of the 50 numbers read, over 40 are recorded correctly, intelligibility is taken to be satisfactory, and the noise is considered not to exceed permissible standards.

Fig. 6. Translation by CIA of Slavin paper (Edited from [7])

Slavin explicates how to use a sound level meter (SLM) in ‘*Methods of noise measurements*’ [7], it is important to quote that the acousticians at LIOT have used Standardized frequencies weighting networks in 1950 decade (an explanation about those old curves have been published by the author in this Journal [13]). Unfortunately to this day, pictures of SLM manufactured by LIOT and used in the ex-USSR during 1950 decade are not available on Internet yet.

Talking about how to make the analysis using the noise limits curve, Slavin recommends making the analysis of the noise measurement results as follows: Record the sound level on each frequency octave band, and draw the spectrum in a chart, then by using a transparent sheet that has drawn the noise limit curve, superimpose it and observe at what frequency the limit has been exceeded, or not.

The author of this article knows nothing of the investigations carried out at LIOT - like the rest acousticians of the ‘western world’ - or in other research centers of the ex-USSR during the ‘Cold War Era’, the Slavin paper ‘*Brief description of the works on the study of noise and on the fight against noise in the USSR for the period before 1957*’ [5] is an excellent starting point to know their work, and among them there is one that aroused the author curiosity: In 1940 they have ‘*proposed a device for the hygienic assessment of the harmfulness of noise. The device had a frequency response in the form of an “equal annoyance” curve by Laird and Coye,*’ [5] this is an incredible scientific achievement, because the Laird&Coye studies weren’t widely known (even in 2020), but at LIOT they have a specific device which used their curves (an explanation of Laird&Coye study is in [13]).

Last but not least, it is worth mentioning how advanced was Slavin’s research about human hearing perception, according to him the results that they had got at LIOT are almost the same of US ones, and he suggested ‘*In the future, based on the same idea of increasing the unit of the scale, Slavin was proposed to take sound volume at a level of 40 phons as a unit, which turned out to be very convenient*’ [5]; we have to keep in mind that 40 phon loudness curve is close to 85 dBA value.

5. Slavin participation and mentions at International Congress

5.1. XII International Congress of Occupational Health ICOH1957

Slavin have participated at XII International Congress of Occupational Health (ICOH) which took place in Helsinki, 30th June-5th July 1957, where he presented ‘*Tentative Standards and Regulations for Restricting Noise in Industry*,’ [9] originally written into German; the paper is a summary of his 1955 work ‘*Standards and rules for organizing noise in industry*,’ the one used as background to USSR legal noise level for the occupational law.

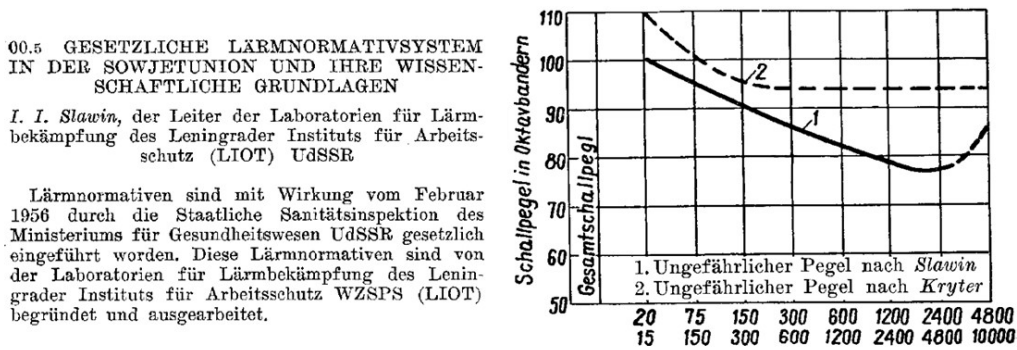


Fig. 7. Images extracted from [9] Slavin paper presented at 12th ICOH, 1957

This Congress was really important because the Slavin’s noise levels limits were internationally known; according to him ‘Noises allowed by Soviet norms are close in their values to those reported at the Congress in the order of discussion by scientists from the USA ([Charles R.] Williams) and Japan ([Shiji] Katsuki)’ [9].

5.2. Third International Congress on Acoustics ICA1959

Slavin died in January 1959, but his work was presented posthumously at Third International Congress on Acoustics, ICA1959 which took place in Stuttgart, by D. Brodhun an acoustician from the ex-GDR, he presented a deep analysis of Slavin curve and the evaluation of his noise criteria [11].

The Slavin paper is not in ICA Proceedings, but in the well-known ‘Wireless World’ magazine of October 1959 issue, they pointed out that ‘*In Russia, according to a paper by I. I. Slavin and J. M. Iljaschtschuk three classes of noise spectra are recognized (low, middle and high frequency) each with a permissible upper limit of intensity.*’ [12], this comment gives the idea that Slavin work was Oral presented (perhaps) by Jurij Iljaschtschuk who worked at LIOT, he developed a sound analyzer among other devices [5].

6. The international impact of Slavin’s proposal on the legal noise limit

Slavin’s work on engineer noise control and noise legal limits are mentioned in several international publications, this gives us an idea of the scientific magnitude of his work into acoustics, noise control engineering, and auditory prophylaxis, limiting high noise levels at workplaces.

6.1. Slavin recommendation in US publications

Charles R. Williams was chairman of *American Industrial Hygiene Association* and met Slavin at ICOH; he published in *Noise Control ASA* magazine the Slavin Paper in 1959[7], and it has been referenced in several USA medical and technical publications since then.

It is interesting the fact that Slavin is mentioned more in US technical publications than ex-Communist countries, a brief list of the American institutions are:

- a) NASA, '*Hygienic characteristics of industrial noise*' [14], [15]
- b) US Navy, '*Control of noise and sonic vibration in ships*' [16]
- c) US Department of Commerce '*Soviet noise-control research*' [17]
- d) EPA, '*A basis for limiting noise exposure for hearing conservation*' [18]
- e) Central Intelligence Agency, CIA digital repository [19][20][21][22]

The well-known American acoustician Karl D. Kryter, who worked at Bolt-Berank-Neumann and NASA into several hearing conservations programs, he highlighted that '*Slavin states his contours are meant to be a practical balance between hearing conservation and necessary industrial noise conditions*' [23].

6.2. The ISO/TC-43 Group and the Slavin recommendation about noise limits

According to Slavin, the Russians representatives at ISO presented his work about noise limits in workplaces; probably they did it in 1958 to discuss it in ISO/TC-43 board:

Currently, the International Committee for Standardization (ISO/TC-43), with the participation of representatives of the USSR (A.V. Rimsky-Korsakov, I.G. Rusakov, V.V. Furduyev), is preparing for standardization of the volume scale. It should be pointed out that this standardization is associated with great difficulties and may turn out to be premature so far, due to the possible introduction of new curves of equal loudness for noise. There is also no doubt that for assessing the physiological effect of noise, noise characteristics such as the degree of its unpleasantness, harmfulness and the like are also of great importance. These characteristics are not yet quantifiable. [5]

Unfortunately, there is no other information available on Internet yet, surely his criteria was discussed in ISO/TC-43 board meetings work, but his noise curve criteria was never finalized as a technical proposal.

Slavin comments in another paper that, in September 1955, I. G. Rusakov from Moscow *Central Research Institute of Physical-Technical and Radar Measurements presented at ISO/TC-43 'an international recommendations for the study and measurement of airborne noise in order to standardize values and measurement methods'* [24].

6.3. Publication about hearing conservation

Among several scientific publications on hearing conservation which mention the Slavin's work, according to the author, there are two that stand out from the rest, because both publications rescue Slavin's work at the end of 1960 decade:

- a) Walter Reichardt, '*Loudness level Loudness noise*' [10]
- b) Rummerfield,&Rummerfield, '*Noise Induced Hearing Loss*' [25]

Conclusions

The author found the Slavin noise limits curve as serendipity when he was seeking information for one of his investigations, about the history of the inception of '85 dBA' as unique value for noise limit, but the Slavin proposition is previous to those criteria and it does not fit into the same study branch.

This article is a tribute to the memory of I. I. Slavin, rescuing his work in acoustics science to the 21st century, because he has done an important contribution into the field of human hearing conservation, and because his scientific research ended as legislation being the first of this kind in the world, later it was used as reference for other countries.

The Acoustics has a few representatives' scientists; perhaps Ilya Ilyich Slavin could be among those who have made contributions to this discipline, specifically in the area of occupational noise, hearing conservation or similar.

The author wants to acknowledge and thank Iuliia Rassoshenko (*Noise Theory and Practice Journal*) who encourage him to write about I. I. Slavin.

References

1. Акустический Журнал (1959) «И. И. Славин», available at: http://www.akzh.ru/pdf/1959_2_255.pdf (accessed: 06.05.2020)
2. Сухаревский, Ю. М. (1995) «День победы (1945-2015гг)» Физический институт П. Н. Лебедева Российской академии наук, available at: <http://sites.lebedev.ru/ru/sites/victory/3556.html> (accessed: 06.05.2020)
3. Сухаревский, Ю. М. (1987) «В годы войны Воспоминания о В. И. Векслере», available at: http://elib.biblioatom.ru/text/veksler_2003/go,29/ (accessed: 06.05.2020)
4. Acoustic Magazine (1967) «Советская акустика за 50 лет» Акустический Журнал, available at: http://www.akzh.ru/pdf/1967_4_481-532.pdf (accessed: 06.05.2020)
5. Slavin, I.I. (1959) «Краткий очерк работ по исследованию шумов и по борьбе с шумами в СССР за период до 1957 г» Акустический Журнал, available at: http://www.akzh.ru/pdf/1959_2_221-230.pdf (accessed: 06.05.2020)
6. Russian patent (1957) «Способ улучшения акустических свойств помещения» SU 119669 A1: <https://patents.google.com/patent/SU119669A1/ru> (accessed: 06.05.2020)
7. Slavin, I.I. (1959) «Tentative sanitary standards and regulations for restricting noise in industry» CIA digital repository, available at: <https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RPD80-00246A004500310001-7.pdf> (accessed: 06.05.2020)
8. Slavin, I.I. (1959) «Soviet Tentative Standards and Regulations for Restricting Noise in Industry» Noise control magazine. Published by Charles R. Williams, available at: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.2369390> (accessed: 06.05.2020)
9. Slavin, I.I. (1957) «Gesetzliche Lärmnormativsystem in der Siwjetunion und ihre Wissenschaftliche Grundlagen» <http://repository.icohweb.org/helsinki-1957/> (accessed: 06.05.2020)
10. Reichardt, Walter (1966) «Loudness level Loudness noise» Journal of audiological technique, available at: https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/HGAk_1966_05-1.pdf (accessed: 06.05.2020)
11. Brodhun, D. (1959) «Direkte anzeige von sollkurven-überscheritungen» in Proceedings of the International Congresses on Acoustics, available at: <https://www.icacommission.org/proceedg.html> (accessed: 06.05.2020)
12. Wireless World (1959) «International Congress on Acoustics. Topics discussed at this year's meeting in Stuttgart» Wireless World magazine October issue, available at: <https://www.americanradiohistory.com/UK/Wireless-World/50s/Wireless-World-1959-10.pdf> (accessed: 06.05.2020)
13. Montano, W.A. «Low-Frequency Noise is underestimated by dBA. After 80 years, an LFN descriptor for rating annoyance is necessary» Noise Theory and Practice, Scientific Journal, available at: http://media.noisetp.com/filer_public/50/f3/50f3c4f8-3c30-4031-adb8-f70ab05c78e1/noisetp2020issue1_6pp7-29.pdf (accessed: 06.05.2020)

14. NASA (1959) «Hygienic characteristics of industrial noise» Google free-book
15. NASA (1973) «Noise and noise and sickness» available at:
https://archive.org/stream/nasa_techdoc_19730019203/19730019203_djvu.txt (accessed: 06.05.2020)
16. US Navy (1963) «Control of noise and sonic vibration in ships» available at:
https://archive.org/download/DTIC_AD0404940/DTIC_AD0404940.pdf (accessed: 06.05.2020)
17. US Department of Commerce (1961) Soviet noise-control research
18. EPA (1973) «A basis for limiting noise exposure for hearing conservation» available at:
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9101XEFB.PDF?Dockey=9101XEFB.PDF> (accessed: 06.05.2020)
19. Tartakovsky, B.D. (1952) «An extensive conference of the committee on acoustics of the Academy of Sciences» CIA digital repository, available at:
<https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP82-00039R000200050007-8.pdf> (accessed: 06.05.2020)
20. Tartakovsky, B.D. (1951) «Topics and speakers at soviet acoustics conference» CIA digital repository, available at: <https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP80-00809A000700040561-3.pdf> (accessed: 06.05.2020)
21. Slavin, I.I. (1959) «Tentative sanitary standards and regulations for restricting noise in industry» CIA digital repository, available at:
<https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RPD80-00246A004500310001-7.pdf> (accessed: 06.05.2020)
22. Russian Acoustic Journal (1950) «Conference on the use of Ultra-acoustics» CIA digital repository, available at: <https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP84-00581R000300800009-8.pdf> (accessed: 06.05.2020)
23. Kryter, Karl D. (1970) «The Effects of Noise on Man» Elsevier (Page 181 available at Google books on-line)
24. I.I. Slavin (1957) «Научная конференция по борьбе с шумами и действию шума на организм» Акустический Журнал. http://www.akzh.ru/pdf/1957_1_83-85.pdf
https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/HGAk_1966_05-1.pdf (accessed: 06.05.2020)
25. Rummerfield, P.S.; Rummerfield, M.J. (1969) «Noise Induced Hearing Loss», available at: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/216507996901701105> (accessed: 06.05.2020)
26. Тартаковский, Б.Д. (1949) «Расширенное совещание акустической комиссии академии наук СССР» Успехи Физических Наук. <https://ufn.ru/ru/articles/1949/8/j/> (accessed: 06.05.2020)

УДК: 534.83:628.83
OECD: 01.03.AA

Звукозащитные свойства винтовой вставки в воздуховодах вентиляции

Мурзинов В.Л.^{1*}, Мурзинов П.В.², Мурзинов Ю.В.³, Халяпина С.С.⁴

¹ Д.т.н., профессор кафедры «Техносферная и пожарная безопасность»

² К.т.н., заведующий лабораторией «Исследование акустических процессов»

³ К.т.н., доцент кафедры «Электропривод, автоматика и управление
в технических системах»

⁴ Инженер кафедры «Техносферная и пожарная безопасность»

^{1,2,3,4} Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, РФ

Аннотация

В статье рассматривается задача оценки эффективности подавления аэродинамического шума винтовой вставкой в воздуховод вентиляции. Механические вентиляционные системы получили широкое распространение для обеспечения санитарно-гигиенических или технических потребностей во многих областях промышленности, бытовых условиях, местах пребывания большого числа людей. Однако механические вентиляционные системы имеют негативную сторону, они создают шум, который распространяется по вентиляционным каналам и может стать причиной ухудшения нормальных условий труда и отдыха. Доля аэродинамического шума существенно преобладает над структурным шумом. Поэтому подавление аэродинамической составляющей шума вентиляционных систем является актуальной задачей. Существуют различные средства снижения шума потоков в воздуховодах. В статье рассмотрены методы и конструкции, обеспечивающие снижение аэродинамического шума и показаны различные конструктивные решения, начиная от конструкций, представленных в нормативных документах и кончая оригинальными современными разработками. Отмечена эффективность применения в воздуховодах спиральных вставок в виде геликоидов. Применение геликоидов практически не увеличивает гидродинамического сопротивления воздуховодов. Использование звукопоглощающих материалов для облицовки воздуховодов и изготовления геликоидов, позволило получить синергетический эффект совместного подавления ими аэродинамического шума, в результате чего, получилось значительное снижение аэродинамического шума в диапазоне средних и высоких частот.

Ключевые слова: снижение шума, аэродинамический шум, вентиляция, воздуховод, геликоид, спиральная вставка, глушитель.

Sound protection properties of a screw insert in ventilation ducts

Murzinov V. L.^{1*}, Murzinov P. V.², Murzinov Yu. V.³, Halyapina S. S.⁴

¹ Doctor of technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere and fire safety

² Candidate of technical Sciences, head of the laboratory «Research of acoustic processes»

³ Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of electric Drive, automation and control in technical systems

⁴ Engineer of the Department of Technosphere and fire safety

^{1, 2, 3, 4} Voronezh state technical University, Voronezh, Russia

Abstract

The article deals with the problem of evaluating the effectiveness of aerodynamic noise suppression by a screw insert in the ventilation duct. Mechanical ventilation systems have got widespread to provide sanitary-hygienic or technical needs in many industry areas, for living conditions, and places destined for the vast number of people. However, the mechanical ventilation systems have a negative feature as well: they make noise spreading through the ventilation ducts which can cause deterioration of normal working and resting conditions. The portion of the aerodynamic noise substantially prevails over the portion of the structural noise. Therefore, the suppression of the aerodynamic component of the noise in the ventilation systems is a relevant objective. There are various means of reducing the noise of airflows in the ducts. We have considered methods and structures that reduce aerodynamic noise and showed various design solutions starting from structures presented in regulatory documents to original modern developments. We have noted the efficiency of the application of helical inserts (helicoid type) in the ducts. The use of helicoids practically does not increase the hydrodynamic resistance of the air ducts. The use of sound-absorbing materials for the ducts finishing and helicoids production made it possible to obtain a synergistic effect of joint suppression of the aerodynamic noise resulting in a significant reduction of the aerodynamic noise in the medium and high frequency range.

Keywords: noise reduction, aerodynamic noise, ventilation, air duct, helicoid, spiral insert, muffler.

Введение

Механические вентиляционные системы получили широкое распространение для обеспечения санитарно-гигиенических или технических потребностей во многих областях промышленности, бытовых условиях, местах пребывания большого числа людей. Широкое распространение этих систем объясняется необходимостью поддержания воздуха в помещении заданного состава. Однако механические вентиляционные системы имеют негативную сторону, они являются источником аэродинамического и структурного шума, который становится причиной ухудшения нормальных условий труда и отдыха. Основной причиной возникновения шума является работа центробежных и осевых вентиляторов, их электродвигателей, наличие турбулентных пульсаций воздуха и не всегда оптимальной конфигурации воздуховодов[1].

По воздуху, заключенному в воздуховодах, распространяется аэродинамический шум, а по стенкам воздуховодов и по строительным конструкциям, где расположены элементы вентиляционной системы – структурный шум. Доля аэродинамического шума существенно преобладает над структурным шумом. Поэтому подавление аэродинамической составляющей шума вентиляционных систем является актуальной задачей[2]. При этом в воздуховодах вентиляционных систем не должно быть увеличения гидродинамического сопротивления. Воздуховоды представляют собой эффективные каналы передачи звуковых потоков от вентиляционной установки[3] в помещения, которые могут находиться довольно далеко. Кроме того, вентиляционная система

может передавать звуковой поток не только исходящий от вентилятора, но и из одного помещения в другое по воздуховодам. При этом шум попадает в помещение через вентиляционные отверстия и через стенки воздуховодов.

1. Снижение шума вентиляционных систем методами, представленными в нормативных документах

Снижение аэродинамического шума вентиляционных систем является одной из актуальных задач. В нормативном документе[4] показаны возможные конструкции глушителей, обеспечивающих подавление аэродинамической составляющей шума.

Снижение уровня шума в воздуховоде определяется его длиной, сечением и коэффициентом звукопоглощения материала, которым облицована его внутренняя поверхность. При одном и том же материале, из которого сделан воздуховод, и различных его сечениях снижение шума будет тем меньше, чем больше сечение. Следовательно, воздуховод большего сечения имеет меньшее гидравлическое сопротивление и, соответственно, меньшее снижение шума.

В случаях, когда необходимо ослабить шум в воздуховодах, применяют акустические глушители. Выбор типа глушителя определяется в основном частотным составом шума и требуемым снижением его общего уровня. При этом глушители не должны оказывать значительного сопротивления потоку воздуха. Их следует делать по возможности малогабаритными, простыми и долговечными в эксплуатации.

Простейшим глушителем является канал, облицованный звукопоглощающим материалом и с отклоненным потоком, показанном на рис. 1, а). В глушителях этого типа звук распространяется вдоль поглощающего слоя. Конструктивно такие глушители выполняют в виде ряда параллельных прямоугольных (рис. 1, б)) или круглых каналов (рис. 2, а)). Большой эффективностью по снижению шума обладает коленчатый глушитель, изображенный на рис. 2, б)). Однако изменение направления потока создает большие гидравлические сопротивления.

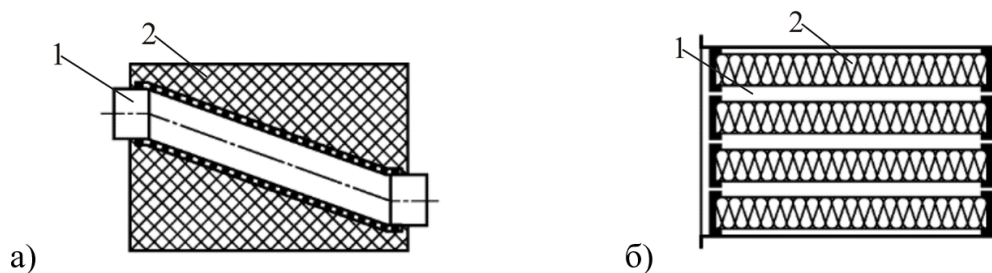


Рис. 1. Глушитель: а) с отклонением потока; б) с параллельными пластинами без промежуточных слоев. 1 – вентиляционный канал, 2 – звукопоглощающий материал.

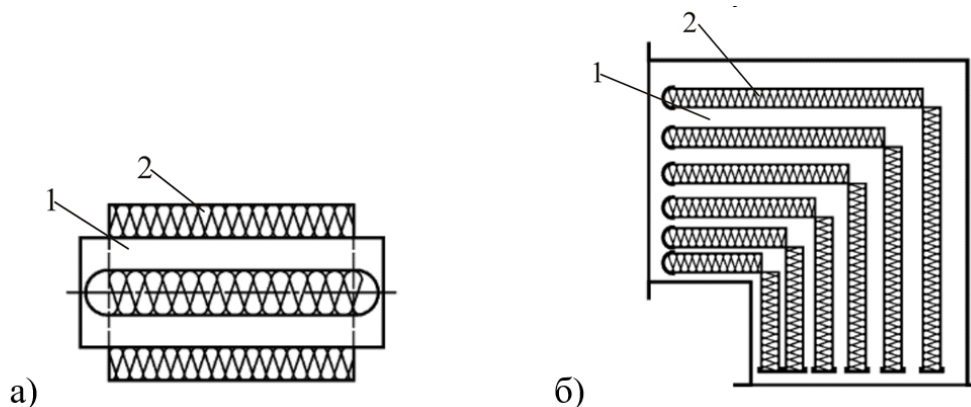


Рис. 2. Глушитель: а) круглый глушитель с концентрическим кожухом; б) коленчатый глушитель. 1 – вентиляционный канал, 2 – звукопоглощающий материал.

Часто щели пластинчатого глушителя заменяют системой каналов очень малого сечения, суммарная рабочая площадь которых равна площади воздуховода большого канала. Стенки этих каналов также покрывают звукопоглощающими материалами.

Ослабление шума, создаваемое звукопоглощающей облицовкой, зависит от ее толщины, расстояния между пластинами, длины облицованной части и коэффициента поглощения облицовки. В работе[5] рассмотрена модель глушителя для повышения эффективности снижения уровня шума в широком диапазоне частот в линейном воздуховоде. Вопросы математического моделирования глушителей шума и подавления звука в воздуховодах с поглощающими стенками показаны в работах[6, 7, 8]. Приведен сравнительный анализ различных критериев эффективности глушителей шума, указаны их преимущества и недостатки.

Практическое использование глушителей с линейным перемещением потока показывает не достаточную эффективность их работы. Глушители с высокой степенью шумоподавления, как правило, имеют большое гидравлическое сопротивление, а воздухопроводы с маленьким гидравлическим сопротивлением обладают низкими звукозащитными свойствами.

2. Винтовые вставки в воздухопроводах вентиляции

Одним из направлений в области снижения шума в вентиляционных системах является применение акустических глушителей, создающих винтовые пути для перемещения газовой среды и акустической энергии, сопровождающей газовой поток. При этом решается задача повышения эффективности снижения шума и сохранения неизменным гидравлического сопротивления в вентиляционных каналах.

Ранее, применительно к выхлопной системе автомобиля, было предложено поглощать акустическую энергию, сопровождающую поток текучей среды, такой как воздух, путем пропускания её по воздуховоду, в котором расположен винтовой элемент[9]. Благодаря винтовому элементу газовая среда следует по винтовой траектории через воздуховод (рис. 3). Такие устройства были предложены для использования в автомобильных глушителях, в которых низкие акустические частоты ниже 60 Гц ослабляются до нормативных значений.

Звуковые потоки с большой длиной волны в таких глушителях с винтовым элементом не могут перемещаться, беспрепятственно двигаясь по окружной винтовой дорожке. Звуковые потоки средних и высоких частот, с другой стороны, незначительно ослабляются этим устройством, так как, в отличие от низкочастотной акустической энергии, их более короткая длина волны позволяет перемещаться отражениями по

винтовой траектории. Таким образом, звуковые потоки со средними и высокими акустическими частотами проходят через открытый конец канала и выходят из него практически не поглощенными.

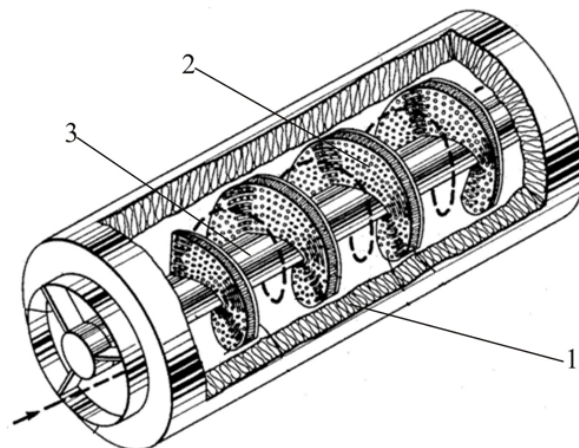


Рис. 3. Акустически поглощающий воздуховод. Аксонометрическая проекция с местным разрезом. 1 – звукопоглощающий материал, 2 – лопасти перфорированные, 3 – ось крепления лопастей.

Снижение шума в системе вентиляции может осуществляться применением спиральных вставок или вставок в виде геликоида. Глушитель, использующий спиральные вставки показан на рис. 4. Спиральный глушитель используется для воздуховодов, каналов вентиляции, кондиционирования воздуха или подобных им устройств и содержит трубчатый корпус 1, покрытый звукопоглощающим материалом. Внутри трубчатого корпуса 1 располагается спиральный канальный элемент 2, который расположен внутри и продольно в указанном трубчатом корпусе 1. Спиральный канальный элемент 2 укреплен на оси 3[10]. Все элементы устанавливаются в воздуховоде 4.

Спиральная вставка заставляет воздух в канале следовать по удлиненной винтовой траектории, которая приводит его к взаимодействию со звукопоглощающим покрытием. Такое движение обеспечивает снижение аэродинамического шума в воздуховоде и не создает дополнительного гидравлического сопротивления.

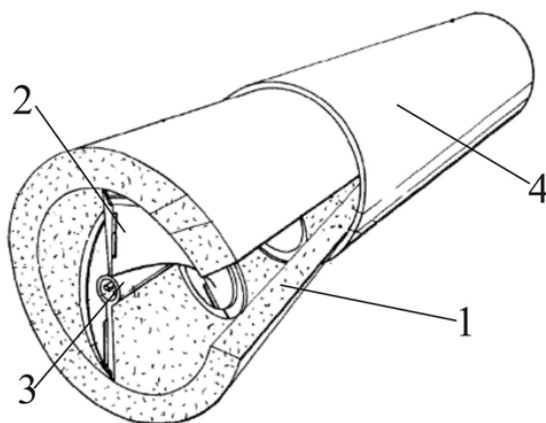


Рис. 4. Спиральный глушитель шума. 1 – трубчатый корпус из звукопоглощающего материала, 2 – спиральный канальный элемент, 3 – ось крепления спиральной направляющей, 4 – воздуховод.

В Воронежском государственном техническом университете разработали более простую конструкцию звукоподавляющего вентиляционного канала (рис. 5)[11], в котором установлена звукопоглощающая панель в виде геликоида (рис. 6), установленного плотно без зазоров в воздуховоде, облицованном по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом.

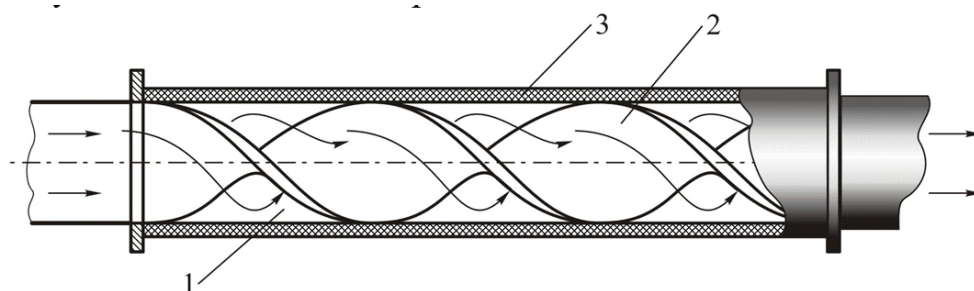


Рис. 5. Звукоподавляющий вентиляционный канал. 1 – воздуховод, облицованный по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом; 2 – геликоид – спиральный элемент; 3 – звукопоглощающий материал.



Рис. 6. Геликоид – спиральный элемент.

Принцип функционирования и снижение уровня аэродинамического шума заключается в следующем. Поток воздуха и сопровождающий его звуковой поток перемещаются в направлении, показанном на рис. 5, встречает на пути своего движения геликоид 2. При этом воздушный поток плавно переходит во вращательное движение, а звуковой поток, попадая на геликоид 2, частично поглощается им и частично отражается, попадая на звукопоглощающий материал 3. Звукопоглощающим материалом 3 звуковой поток так же частично поглощается и частично отражается. Звуковой поток подвергается многократному отражению и поглощению благодаря тому, что геликоид 2 имеет винтовую структуру. Звуковой поток, многократно отразившись, и многократно поглотившись звукопоглощающим материалом, теряет акустическую энергию. Звукопоглощающий материал и его свойства показаны в работе[12]. Однако этот поток воздуха не претерпевает существенных потерь напора из-за гладкой поверхности геликоида, из-за ограниченного поперечного сечения геликоида и из-за ограниченной толщины звукопоглощающего материала. Шум, который, сопровождает воздушный поток, уменьшается благодаря синергетическому действию упомянутого геликоида и упомянутой внешней обволакивающей оболочки. Предлагаемая методика снижения аэродинамического шума может быть с успехом применена, например, для пневмоконвейеров на воздушной подушке[13, 14], которые снабжены каналами для перемещения воздушных потоков.

3. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования уровня звукового давления шума, распространяющегося по воздуховодам вентиляционных сетей, были проведены для различных вариантов конструктивного исполнения линейного воздуховода. Вариант 1 – линейный воздуховод без использования звукопоглощающих материалов. Вариант 2 – линейный воздуховод, облицованный звукопоглощающим материалом. Вариант 3 – линейный воздуховод, облицованный звукопоглощающим материалом с геликоидом из звукопоглощающего материала.

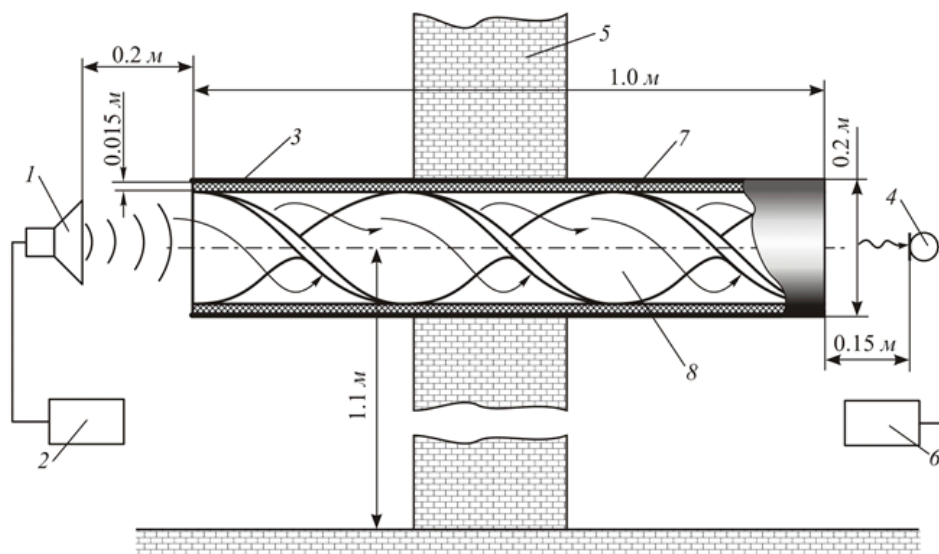


Рис. 7. Экспериментальная установка линейного воздуховода с геликоидом.

На рис. 7 представлена экспериментальная установка для определения уровня звукового давления от высококачественного динамика 1, связанного с источником 2 «белого шума», прошедшего через вентиляционный канал 3. В качестве линейного воздуховода 3 был взят воздуховод из пропилена длиной 1 метр и диаметром 200 мм. Толщина стенки воздуховода 3 составляет 3 мм. Величина звукового давления «белого шума», вышедшего из воздуховода 3 измерялась микрофоном 4 прецизионного шумомера 5 – анализатора спектра «ОКТАВА – 110А». Воздуховод 3 был установлен в отверстие стены 5, разделяющей два помещения. В одном помещении находился источник 2 «белого шума», а в другом – шумомер 6 «ОКТАВА – 110А». Характерные размеры экспериментальной установки показаны на рис. 7.

Для варианта 2 конструктивного исполнения воздуховода его внутренняя поверхность была обклеена звукопоглощающим материалом 7 «Шуманет-БМ» толщиной 15 мм. Для варианта 3 конструктивного исполнения воздуховода 3 был добавлен геликоид 8, имеющий полтора спирального витка. Геликоид 8 был изготовлен из металлической сетки и обклеен с обеих сторон этой сетки звукопоглощающим материалом 6 «Шуманет-БМ». Толщина геликоида 8 составила 20 мм.

Процедура измерения проводилась следующим образом. Для каждого варианта конструктивного исполнения подавался «белый шум» в воздуховод. Интенсивность «белого шума» всегда была постоянной. Звуковой поток, выходящий из воздуховода 3, измерялся микрофоном 4 шумомера 6 «ОКТАВА – 110А». Результаты измерений представлены в таблице и на рис. 8.

Таблица 1

Экспериментальные значения уровня звукового давления от «белого шума» для различных конструктивных схем воздуховода, дБ

Варианты конструктивного исполнения	Частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Вариант 1	69,4	70,8	70,1	69,2	66,7	67,4	64,7	60,1
Вариант 2	68,2	65,3	57,5	50,4	48,8	53,1	58,6	61,7
Вариант 3	68,3	64,2	53,1	46,8	36,2	31,3	24,2	18,4

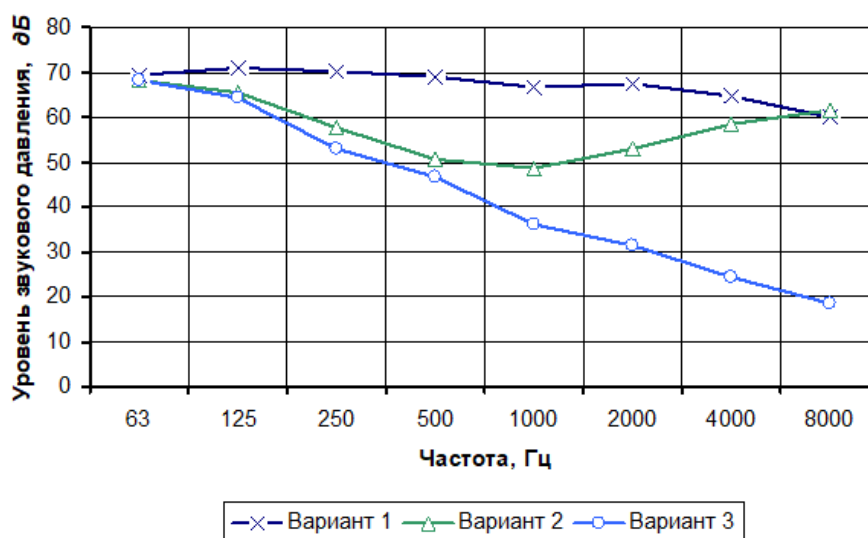


Рис. 8. График уровня звукового давления в воздуховоде при различных его конструктивных исполнениях.

На рис. 8 показаны графики уровня звукового давления для различных конструктивных исполнений воздуховода. Из графиков видно, что наибольший эффект снижения уровня звукового давления достигается при совместном использовании звукопоглощающего материала на внутренней поверхности воздуховода с геликоидом, покрытым звукопоглощающим материалом. В этом случае величина снижения звукового давления в области высоких частот составила около 40 дБ по сравнению с другими вариантами конструктивного исполнения. В области средних частот величина снижения уровня звукового давления составила около 30 дБ в сравнении с вариантом 1 конструктивного исполнения и около 10 дБ при сравнении с вариантом 2 конструктивного исполнения.

Закключение

Анализ звукоподавляющих возможностей вентиляционных систем показал, что применение звукопоглощающих материалов для облицовки внутренней поверхности воздухопроводов снижает уровень аэродинамического шума. Кроме того, использование различных глушителей так же способствует снижению шума вентиляционных систем. Наиболее эффективным конструктивным решением стало использование спиральных элементов, создающих винтовое движение потока в воздуховодах, облицованных по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом и спиральным элементом в

форме геликоида, выполненным так же из звукопоглощающего материала. При этом винтовое движение потока создает незначительное гидравлическое сопротивление. Благодаря такому техническому решению проявился синергетический эффект от совместного действия звукопоглощающего материала и винтового движения воздуха и звукового потока, что позволило значительно уменьшить аэродинамический шум вентиляционных систем в области средних и высоких частот.

Список литературы

1. Алексеев С.П. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. / С.П. Алексеев, А.М. Казаков, Н.Н. Колотило. – М.: Машиностроение, 1970. – 280 с.
2. Мурзинов В.Л. Аэродинамический шум производственных транспортных систем на воздушной подушке / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В. // Безопасность труда в промышленности. – 2015, 10. – С.30–35.
3. Тимушев С.Ф. Моделирование источника и акустического поля тонального шума лопаточных машин / Тимушев С.Ф., Гаврилюк В.Н., Аксенов А.А., Клименко Д.В. // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 19 – 30.
4. ГОСТ 28100-2007. Акустика. Измерения лабораторные для заглушающих устройств, устанавливаемых в воздуховодах, и воздухораспределительного оборудования. – М: Стандартинформ, 2008. – 45 с.
5. Кобзарь Д.Д. Особенности акустического расчёта систем вентиляции / Кобзарь Д.Д., Вельбель А.М., Олейников А.Ю. // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 4, № 1. – С. 41 – 45.
6. Осипов А. А. Математическое моделирование распространения звука в проточном канале с импедансными стенками / А.А. Осипов, К.С. Реент // Акустический журнал. – 2012, том 58, 4. – С. 509-524.
7. Светлов В.В. Расчет эффективности технологического шумозащитного экрана для снижения шума от воздухозаборных решеток компрессорных установок // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 60 – 68.
8. Чернов Н.С. Устройство для снижения вибрации и шума в трубопроводных системах энергетических установок. Разработка и исследование / Чернов Н.С., Мурановский В.П. // NOISE Theory and Practice. – 2015. – Т. 1, 1. – С. 17 – 21.
9. Патент US 3132717. Acoustically absorbent conduit / J.J. Baruch – Оpubл. 12.05.1964.
10. Патент EP 2426427 A2, МПК F24F 13/02. Helical silencer of the modular and assemblable type, in particular for ducts or channels for ventilation, air-conditioning or the like / Santi, Emiliano. – Оpubл. 07.03.2012, Bulletin 2012/10.
11. Патент 170696 РФ, МПК G10K 11/00. Звукоподавляющий вентиляционный канал / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В. – Оpubл. 03.05.2017, Бюл. № 13.
12. Murzinov V.L. Sound absorption of sound suppressing lightweight structured panels / Murzinov V.L., Murzinov P.V., S.V. Popov, Y.V. Tatarinova // Akustika. 2019. Т. 34. Р. 40-43.
13. Murzinov V.L. Air Cushion as Source of Aerodynamic Noise in Pneumatic Conveyors / Murzinov V.L., Murzinov P.V., V.A. Popov, V.I. Buyanov // Akustika. 2019. Т. 34. Р. 44-47.
14. Мурзинов В.Л. Снижение шума в устройствах транспортирования на воздушной подушке. – Воронеж: Росинформресур, 2008. – 196 с.

References

1. Alekseyev S. P. Fighting noise and vibration in mechanical engineering. / S. P. Alekseyev, A. M. Kazakov, N. N. Kolotilov. Moscow: Mashinostroenie, 1970. - 280 p.
2. Murzinov V. L. Aerodynamic noise of industrial transport systems on an air cushion / Murzinov V. L., Murzinov P. V. // labor Safety in industry. - 2015, no. 10. - P. 30-35.
3. Timushev S. F. Modeling of the source and acoustic field of tonal noise of shovel machines / Timushev S. F., Gavriluk V. N. Aksenov A. A., Klimenko D. V. // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 3, no. 3. - Pp. 19-30.
4. GOST 28100-2007. Acoustics. Laboratory measurements for silencing devices installed in air ducts and air distribution equipment. - Moscow: Standardinform, 2008. - 45 p.
5. Kobzar's D.D. Features of acoustic calculation of ventilation systems / Kobzar D. D., Velbel a.m., Oleinik A. Yu. // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 4, no. 1. - P. S. 41 – 45.
6. Osipov A. A. Mathematical modeling of sound propagation in a flow channel with impedance walls / A. A. Osipov, K. S. Reent // Acoustic journal. - 2012, volume 58, no. 4. - Pp. 509-524.
7. Svetlov V. V. Calculation of the efficiency of technological noise protection screen for reducing noise from air intake grilles of compressor installations // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 3, no. 4. - P. 60 – 68.
8. Chernov N. S. Device for removing vibration and noise in pipeline systems of power plants. Development and research / Chernov n. S., Muranovsky V. P. // NOISE Theory and Practice. - 2015. - Vol. 1, no. 1. - Pp. 17-21.
9. US patent 3132717. Acoustically absorbent conduit / J. J. Baruch-Publ. 12.05.1964.
10. Patent EP 2426427 A2, IPC F24F 13/02. Helical ssilenceof the modular and Assembly type, in particular for dadultsor channels for ventilation, air-conditioning or the like / Santi, Emiliano. - Publ. 07.03.2012, Bulletin 2012/10.
11. Patent 170696 of the Russian Federation, IPC G10K 11/00. Sound-suppressing ventilation channel / Murzinov V. L., Murzinov P. V., Murzinov Yu. V. - Publ. 03.05.2017, Byul. N 13.
12. Murzinov V.L. Sound absorption of sound suppressing lightweight structured panels / Murzinov V.L., Murzinov P.V., S.V. Popov, Y.V. Tatarinova // Akustika. 2019. T. 34. P. 40-43.
13. Murzinov V.L. Air Cushion as Source of Aerodynamic Noise in Pneumatic Conveyors / Murzinov V.L., Murzinov P.V., V.A. Popov, V.I. Buyanov // Akustika. 2019. T. 34. P. 44-47.
14. Murzinov V. L. Noise Reduction in air-cushion transportation devices. - Voronezh: Rosinformresurs, 2008. - 196 p.

УДК: 534.121.1
OECD: 01.03.AA

Собственные частоты колебаний пластины на упругом основании винклеровского типа

Канев Н.Г.*

Доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ

Аннотация

Установлена простая взаимосвязь между собственными частотами колебаний пластины произвольной формы на упругом основании винклеровского типа с произвольными граничными условиями, собственными частотами колебаний этой пластины без упругого основания и жесткостью основания. На примере прямоугольной пластины с опертыми краями подробно рассмотрена задача о ее колебаниях на жестком основании. Показано, что жесткое основание в значительной степени демпфирует колебания плиты и их резонансные свойства не проявляются.

Ключевые слова: собственные частоты колебаний, пластина, основание Винклера.

Eigenfrequencies of a plate on a Winkler elastic foundation

Kanev N.G.*

Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract

A simple relationship is established between the eigenfrequencies of a plate of arbitrary shape on a Winkler elastic foundation with arbitrary boundary conditions, the eigenfrequencies of this plate without the elastic foundation, and the foundation elasticity. On the example of a simply supported rectangular plate, its oscillations on a rigid foundation are considered in detail. It is shown that the rigid foundation significantly damps plate oscillations and their resonant properties do not appear.

Keywords: eigenfrequencies, plate, Winkler foundation.

Введение

Задачи о колебании пластин на упругом основании возникают в различных областях прикладной акустики. Важное значение для практических расчетов имеют собственные частоты колебаний таких пластин, особенно в области первых резонансов. Колебания пластин на упругом основании исследованы во многих работах [1-4], в отдельных случаях получены формулы для расчета собственных частот пластин [5,6]. В настоящей работе приводится простой способ расчета собственных частот изгибных колебаний пластины с произвольными граничными условиями, расположенной на упругом основании винклеровского типа.

*E-mail: nikolay.kanev@mail.ru (Канев Н.Г.)

1. Собственные частоты пластины

Рассмотрим пластину произвольной формы толщиной h . Плотность пластины ρ , изгибная жесткость D . Смещение пластины w задается известным уравнением[7]:

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + D \Delta^2 w = 0. \quad (1)$$

Пусть кривая L является границей пластины, на которой выполняются, как правило, два граничных условия:

$$F_1(w)|_L = 0, F_2(w)|_L = 0. \quad (2)$$

Конкретный вид функций F_1 и F_2 зависит от типа граничных условий. Например, для защемленной пластины они имеют вид $F_1(w) = w$ и $F_2(w) = \partial w / \partial n$. Далее для определенности пластину, колебания которой определяются уравнениями (1) и (2), будем называть ненагруженной, т.е. ее поверхность свободна от внешней нагрузки.

Гармонические колебания пластины описываются уравнением:

$$-\rho h \omega^2 w + D \Delta^2 w = 0. \quad (3)$$

где ω - круговая частота. Примем, что решение системы уравнений (2) и (3) представляется в виде набора собственных функций u_n с собственными частотами ω_n , $n = 1, 2, 3, \dots$. Свободные колебания пластины имеют вид $w = \sum_n A_n u_n$.

Теперь рассмотрим пластину на упругом основании винклеровского типа с жесткостью k . В уравнение движения (1) необходимо добавить силу, действующую на пластину со стороны основания:

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + D \Delta^2 w = -k w. \quad (4)$$

Из (4) получаем уравнение для гармонических колебаний:

$$(-\rho h \omega^2 + k) w + D \Delta^2 w = 0. \quad (5)$$

Введем частоту $\tilde{\omega}^2 = \omega^2 - \frac{k}{\rho h}$, тогда (5) преобразуется к виду:

$$-\rho h \tilde{\omega}^2 w + D \Delta^2 w = 0. \quad (6)$$

Уравнения (3) и (6) имеют одинаковый вид, поэтому их решения в совокупности с граничными условиями (2) также определяются набором собственных функций u_n , но при этом $\tilde{\omega}_n = \omega_n$. Таким образом, пластина на упругом основании имеет те же собственные функции, что и ненагруженная пластина, но их собственные частоты отличаются. При этом они связаны простым выражением:

$$\Omega_n^2 = \omega_n^2 + \omega_0^2. \quad (7)$$

где Ω_n - собственные частоты пластины на упругом основании, $\omega_0^2 = k / \rho h$ - резонансная частота поршневых колебаний пластины на упругом основании (простейшая колебательная система - масса ρh на пружине k).

Таким образом, если известны собственные частоты колебаний ненагруженной пластины любой формы и с любыми граничными условиями [8], то собственные частоты ее колебаний на упругом основании с известной жесткостью могут быть легко найдены с помощью выражения (7).

Если первая собственная частота ненагруженной пластины ω_1 значительно больше резонансной частоты ω_0 , т.е. $\omega_1 \gg \omega_0$, то жесткость основания мала по сравнению с жесткостью пластины, поэтому такое основание можно назвать мягким. В этом случае упругое основание не оказывает сильного влияния на собственные частоты пластины, поскольку $\Omega_n \approx \omega_n$.

В противоположном случае жесткого основания, т.е. $\omega_1 \ll \omega_0$, несколько первых собственных частот пластины на основании имеют близкие значения $\Omega_n \approx \omega_0$ при $n < n_0$, для которых $\omega_{n0} < \omega_0$. Таким образом, жесткое основание значительно влияет на собственные частоты пластины.

Аналогичные результаты справедливы для балки на упругом основании [6], для которой граничные условия (2) задаются на концах балки. Если известны собственные частоты балки с некоторыми граничными условиями, то собственные частоты балки на упругом винклеровском основании рассчитываются согласно (7).

2. Жесткое основание

Рассмотрим подробнее случай жесткого основания на примере прямоугольной пластины с опертыми краями. Собственные частоты колебаний ненагруженной пластины определяются следующим выражением [7]:

$$\omega_{n,m} = \pi^2 \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \left(\left(\frac{n}{a} \right)^2 + \left(\frac{m}{b} \right)^2 \right). \quad (8)$$

где a и b - длины сторон пластины, $n, m = 1, 2, 3, \dots$

Введем параметр $\gamma = a/b$, тогда (8) может быть выражено следующим образом:

$$\omega_{n,m} = \omega_{1,1} \frac{n^2 + \gamma^2 m^2}{1 + \gamma^2}. \quad (9)$$

Далее отнормируем все частоты задачи на частоту $\omega_{1,1}$ (термин безразмерные будем опускать для краткости):

$\bar{\omega}_{n,m} = \frac{\omega_{n,m}}{\omega_{1,1}}$ - собственные частоты колебаний ненагруженной пластины;

$\bar{\Omega}_{n,m} = \frac{\Omega_{n,m}}{\omega_{1,1}}$ - собственные частоты колебаний пластины на упругом основании;

$\bar{\omega}_0 = \frac{\omega_0}{\omega_{1,1}}$ - резонансная частота поршневых колебаний пластины на упругом основании;

$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_{1,1}}$.

Теперь выражение (7) может быть представлено в виде:

$$\bar{\Omega}_{n,m}^2 = \left(\frac{n^2 + \gamma^2 m^2}{1 + \gamma^2} \right)^2 + \bar{\omega}_0^2. \quad (10)$$

Очевидно, что частота $\bar{\omega}_0$ характеризует жесткость упругого основания по сравнению с изгибной жесткостью пластины, для жесткого основания $\bar{\omega}_0 \gg 1$. На рис. 1 приведено сопоставление собственных частот пластины с размерами $\gamma = 2$ на жестком основании $\bar{\omega}_0 = 10$ и собственных частот ненагруженной пластины $\bar{\omega}_0 = 0$. Проколотые точки на рис.1 представляют собственные частоты ненагруженной пластины, поэтому можно легко оценить изменение собственных частот пластины при ее установке на упругое основание.

Наибольшее отличие между частотами $\bar{\Omega}_{n,m}$ и $\bar{\omega}_{n,m}$ имеет место для самой низкой собственной частоты $\bar{\omega}_{1,1} = 1$. С увеличением $\bar{\omega}_{n,m}$ разница между собственными

частотами пластины на упругом основании и ненагруженной пластины уменьшается. В пределе $\bar{\omega}_{n,m} \rightarrow \infty$ собственные частоты становятся почти одинаковыми $\bar{\Omega}_{n,m} \approx \bar{\omega}_{n,m}$.

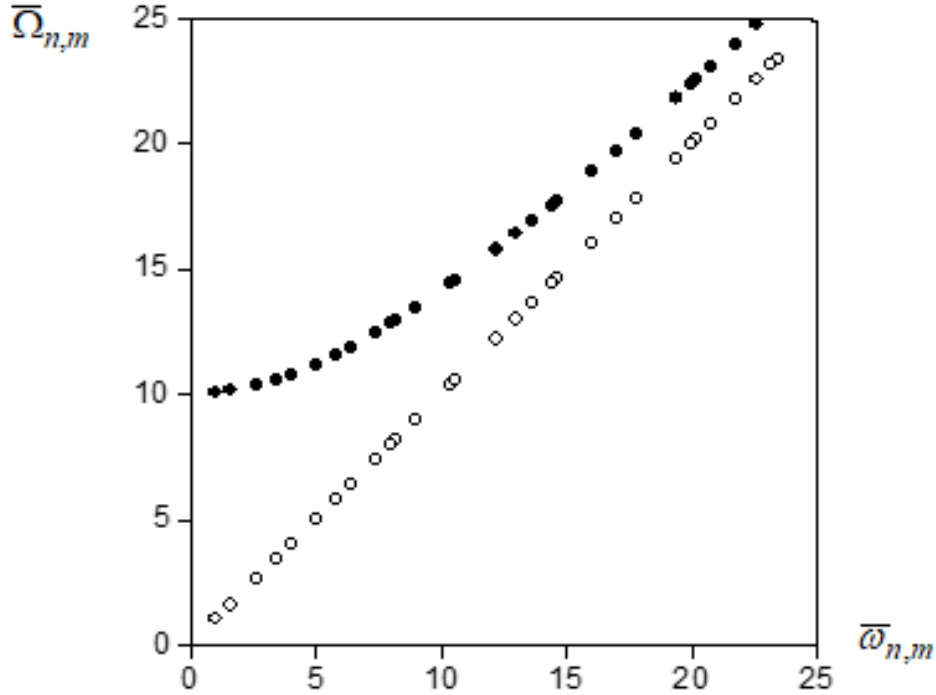


Рис. 1. Зависимость безразмерных собственных частот $\bar{\Omega}_{n,m}$ пластины с размерами $\gamma = 2$ на жестком $\bar{\omega}_0 = 10$ (•) и мягком $\bar{\omega}_0 = 0$ (○) основаниях от безразмерных собственных частот $\bar{\omega}_{n,m}$ ненагруженной пластины

Как видно на рис.1, вблизи частоты $\bar{\omega}_0$ находится несколько собственных частот $\bar{\Omega}_{n,m}$.

Найдем количество собственных колебаний пластины N , частоты которых ниже частоты $\bar{\omega}$ для ненагруженной пластины и пластины на упругом основании. Для ненагруженной пластины этот параметр легко может быть найден аналитически:

$$N \approx \frac{\pi}{4} \frac{1 + \gamma^2}{\gamma} \bar{\omega}. \quad (11)$$

Плотность мод $dN/d\bar{\omega}$ не зависит от частоты. Зависимость $N(\bar{\omega})$ для различных резонансных частот $\bar{\omega}_0$ приведена на рис. 2. Количество мод ненагруженной пластины увеличивается линейно с частотой согласно (11), при этом пластина на упругом основании не имеет собственных колебаний на частотах ниже $\bar{\omega}_0$. Но выше количество мод резко растет, при $\bar{\omega} \gg \bar{\omega}_0$ зависимости $N(\bar{\omega})$ для обоих типов пластин становятся близкими.

Отметим отличие частотной зависимости плотности мод звуковых колебаний в двумерном помещении. Количество мод помещения пропорционально квадрату частоты $N \sim \bar{\omega}^2$, а их плотность растет линейно с увеличением частоты [9]. На достаточно высоких частотах плотность мод становится такой, что резонансные кривые колебаний перекрывают друг друга, а резонансные свойства колебаний оказываются совершенно стертыми. В рассматриваемом случае пластины на жестком основании подобная картина наблюдается, напротив, в области первых резонансных частот.

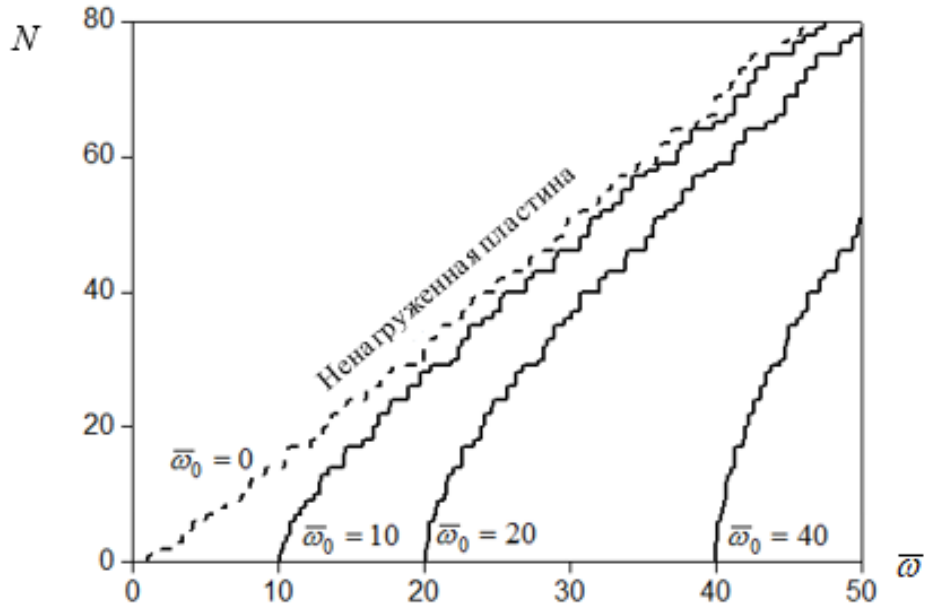


Рис. 2. Количество собственных колебаний N с частотами ниже $\bar{\omega}$ ненагруженной пластины и пластины на упругом основании, жесткость которого определяется частотой $\bar{\omega}_0$

3. Энергия колебаний пластины

В задачах виброизоляции особое значение имеют энергетические характеристики колебаний виброизолированных структур. Для исследования энергии колебания пластины на упругом основании введем кинетическую энергию:

$$E = \frac{1}{2}\rho h \int_0^a \int_0^b |v(x,y)|^2 dx dy = \frac{1}{2}\rho h \omega^2 \int_0^a \int_0^b |w(x,y)|^2 dx dy, \quad (12)$$

где $v = w$ - скорость пластины.

Рассмотрим пластину, опертую по контуру, ее смещение – это суперпозиция собственных колебаний:

$$w(x,y) = \sum_{n,m} A_{nm} \varphi_{nm}, \quad (13)$$

где $\varphi_{nm} = \sin \frac{\pi n x}{a} \sin \frac{\pi m y}{b}$ - собственные колебания, A_{nm} - амплитуда моды (n,m) . Собственные функции ортогональны, поэтому:

$$\int_0^a \int_0^b \varphi_{nm} \varphi_{n'm'} dx dy = \frac{ab}{4} \begin{cases} 1, & \text{при } n = n', m = m' \\ 0, & \text{при } n \neq n', m \neq m' \end{cases}. \quad (14)$$

С помощью (14) находим из (12):

$$E = \frac{1}{8} M \omega^2 \sum_{n,m} |A_{nm}|^2, \quad (15)$$

где M - масса пластины. Амплитуда моды может быть записана в следующем виде:

$$A_{nm} = \frac{F_{nm}}{\rho h (\Omega_{nm}^2 (1 + i\varepsilon) - \omega^2)}, \quad (16)$$

где ε - коэффициент потерь, введенный согласно [10], F_{nm} - коэффициент возбуждения моды, зависящий от способа возбуждения колебаний пластины.

Согласно (15) и (16) ненагруженная пластина имеет максимум кинетической энергии на первой собственной частоте $\omega_{1,1}$:

$$E_{1,1} = \frac{M}{8\rho^2 h^2 \omega_{1,1}^2 \varepsilon^2} |F_{1,1}|^2. \quad (17)$$

В первую очередь нас интересует энергия колебаний пластины, а не способ возбуждения этих колебаний, поэтому для упрощения положим F_{nm} одинаковым для всех мод. Из (15), (16), (17) можно ввести безразмерную кинетическую энергию:

$$\bar{E} = \frac{E}{E_{1,1}} = \varepsilon^2 \bar{\omega}^2 \sum_{n,m} \frac{1}{|\bar{\Omega}_{nm}^2 (1 + i\varepsilon) - \bar{\omega}^2|^2}. \quad (18)$$

Расчет энергии колебаний ненагруженной пластины и пластины на упругом основании приведен на рис. 3 для коэффициента потерь $\varepsilon = 0.1$. Энергия мала на частотах ниже $\bar{\omega}_0$ и максимальна на частоте $\bar{\omega}_0$. При этом для пластины на упругом основании нет острого пика на частоте $\bar{\omega}_0$, а максимальная амплитуда колебаний уменьшается с ростом $\bar{\omega}_0$. Таким образом, при большой плотности мод резонансные колебания плиты не проявляются.

Оценим энергию на частоте $\bar{\omega}_0$ для жесткого основания ($\bar{\omega}_0 \gg 1$). Вблизи $\bar{\omega}_0$ есть примерно $N(\bar{\omega}_0)$ мод, поэтому из (18) получаем:

$$\bar{E}(\bar{\omega}_0) \approx \varepsilon^2 \bar{\omega}_0^2 \frac{N(\bar{\omega}_0)}{(\bar{\Omega}_{nm}^2 \varepsilon)^2} = \frac{\pi}{4} \frac{1 + \gamma^2}{\gamma} \frac{1}{\bar{\omega}_0}. \quad (19)$$

Таким образом, жесткое основание значительно демпфирует изгибные колебания пластины: энергия колебаний пластины уменьшается с увеличением жесткости основания.

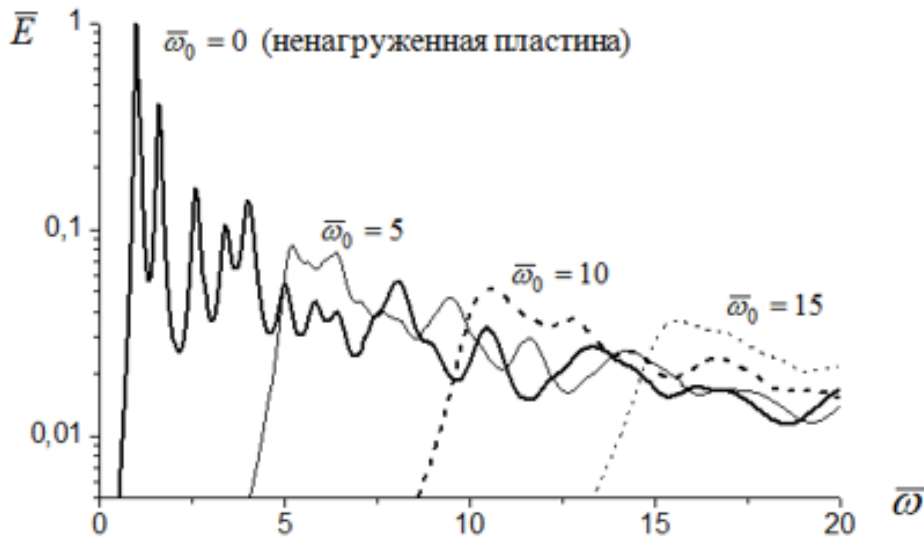


Рис. 3. Кинетическая энергия колебаний пластины

Заключение

Предложен простой способ расчета частот собственных колебаний пластины, лежащей на сплошном упругом основании. Если известны собственные частоты пластины произвольной формы с произвольными граничными условиями и жесткость основания, то собственные частоты этой же пластины на основании могут быть рассчитаны по формуле (7). При этом формы собственных колебаний пластины не изменяются.

Мягкое основание, жесткость которого мала по сравнению с изгибной жесткостью пластины, слабо влияет на собственные частоты пластины. Основание, жесткость которого велика по сравнению с изгибной жесткостью пластины, напротив, приводит к существенному увеличению значений собственных частот. Несколько первых собственных частот оказываются настолько близки друг к другу, что резонансный характер колебаний плиты не проявляется.

Список литературы

1. Salari M., Bert C.M., Striz, A.G. Free vibration of a solid circular plate free at its edge and attached to a Winkler foundation // J. Sound Vib. – 1987. – V. 118 – P. 188-191.
2. Wang C.Y. Fundamental frequency of a circular plate supported by a partial elastic foundation // J. Sound Vib. – 2005. – V. 285. – P. 1203-1209.
3. Bastián-Monarca N.A., Arenas J.P. Study of the sound radiation of a rectangular plate resting on a winkler elastic foundation // Proc. Mtgs. Acoust. – 2017. – V.28, 065002.
4. Доронин А.М., Соболева В.А. Собственные колебания круглой пластинки, лежащей на переменном упругом основании типа Винклера // Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского. – 2014. – № 4. – С. 254-258.
5. Папков С.О. Колебания прямоугольной ортотропной пластины со свободными краями: анализ и решение бесконечной системы // Акуст. журн. – 2015. – Т. 61, № 2. – С. 152-160.
6. Канев Н.Г. Изоляция изгибных колебаний пластины упругим слоем при неравномерном вибрационном воздействии // Акуст. журн. – 2014. – Т. 60, № 6. – С. 696-700.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987.
8. Leissa A.W. Vibration of plates. Acous. Soc. Am., Sewickley, PA, 1993.
9. Исакович М.А. Общая акустика. М: Наука, 1978.
10. Бобровницкий Ю.И. Гистерезисное демпфирование и причинность // Акуст. журн. – 2013. – Т. 59, № 3. – С. 291-295.

References

1. Salari M., Bert C.M., Striz, A.G. Free vibration of a solid circular plate free at its edge and attached to a Winkler foundation // J. Sound Vib. – 1987. – V. 118 – P. 188-191.
2. Wang C.Y. Fundamental frequency of a circular plate supported by a partial elastic foundation // J. Sound Vib. – 2005. – V. 285. – P. 1203-1209.
3. Bastián-Monarca N.A., Arenas J.P. Study of the sound radiation of a rectangular plate resting on a winkler elastic foundation // Proc. Mtgs. Acoust. – 2017. – V.28, 065002.
4. Doronin A.N., Soboleva V.A. Natural oscillations of a circular plate resting on a variable Winkler elastic foundation // Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. – 2014. – № 4. – P. 254-258.

-
5. Papkov S.O. Vibrations of a rectangular orthotropic plate with free edges: Analysis and solution of an infinite system // *Acoust. Phys.* – 2015. – T. 61, № 2. – P. 136-143.
 6. Kanev N.G. Flexural vibration insulation with an elastic layer for a plate under nonuniform vibratory action // *Acoust. Phys.* – 2014. – V. 60, № 6. – P. 727-731.
 7. Landau L.D., Lifshitz E.M. *Theory of Elasticity*. Pergamon Press, 1970.
 8. Leissa A.W. *Vibration of plates*. Acous. Soc. Am., Sewickley, PA, 1993.
 9. Isakovich M.A. *General Acoustics*. Nauka, Moscow, 1973.
 10. Bobrovnitskii Yu.I. Hysteretic damping and causality // *Acoust. Phys.* – 2013. – V. 59, № 3. – P. 253–256.

УДК: 532.529
OECD: 02.03.PU

Аэроакустика промышленной аэродинамической трубы АТ-11: методика измерения инфразвуковых пульсаций давления

Цветков А.И.*

Доцент, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Интерес к исследованию аэроакустики промышленных аэродинамических труб объясняется высокими требованиями по снижению шума в открытой рабочей части и в рабочих каналах аэродинамических труб. В данной работе рассматривается методика измерения инфразвуковых пульсаций давления в аэродинамической трубе АТ-11 СПбГУ и проводится сравнение подходов к измерению таких пульсаций для труб АТ-11 и Т-103 ЦАГИ.

Ключевые слова: аэроакустика, аэродинамическая труба, инфразвуковые пульсации давления.

Aeroacoustics of industrial wind tunnel AT-11: method of measurement of infrasound pressure pulsations

*Tsvetkov A.I.**

*Associate Professor, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov,
Saint-Petersburg, Russia*

Abstract

The interest in the study of aeroacoustics of industrial wind tunnel is explained by the high requirements for noise reduction in the open working section and in the working channels of wind tunnels. This paper considers the method of measurement of infrasound pressure pulsations in wind tunnel AT-11 (SPbSU) and compares approaches to measurement of such pulsations for AT-11 and T-103 (TsAGI).

Keywords: *aeroacoustics, wind tunnel, infrasound pressure pulsations.*

Введение

Аэродинамические трубы должны обеспечивать в рабочих частях потоки с надёжно измеряемыми газодинамическими и аэроакустическими параметрами. Требования к параметрам потоков могут быть совершенно различными и зависят от назначения аэродинамических труб. Так, трубы могут быть предназначенными для проведения аэродинамических экспериментов в потоках с низкой степенью турбулентности и минимальной неравномерностью скорости по ядру потока. Трубы могут быть предназначенными для проведения аэродинамических экспериментов в моделируемых ветровых потоках с высокой степенью турбулентности последнего, в потоках с ветровыми порывами.

*E-mail: acvetkov@yandex.ru (Цветков А.И.)

Вместе с тем, существуют проблемы, связанные с качеством потока в открытой рабочей части дозвуковых аэродинамических труб замкнутого типа, которое в большей степени определяется наличием инфразвуковых пульсаций давления в аэродинамическом тракте, а также существованием и других источников шума. Существование инфразвуковых пульсаций давления в аэродинамическом тракте трубы делает невозможным безопасную эксплуатацию аэродинамических труб и может иметь следствием разрушений узлов трубы и здания.

Исследование механизма инфразвуковых пульсаций, источников шума может способствовать поиску решений по демпфированию и управлению инфразвуковыми пульсациями, пульсациями скорости и давления в открытой рабочей части аэродинамических труб, управлению степенью турбулентности и аэроакустическими параметрами труб, внедрению этих решений в практику исследований на существующих аэродинамических трубах.

Данная работа представляет интерес в плане необходимости совершенствования и развития экспериментальной базы промышленных аэродинамических труб, в плане постановки экспериментального исследования инфразвуковых пульсаций давления в трубах для решения последующей задачи демпфирования инфразвуковых пульсаций давления. В работе, на примере введенной в 2010 - 2012 гг. в эксплуатацию аэродинамической трубы АТ-11, рассмотрена постановка экспериментального исследования инфразвуковых пульсаций давления.

1. О моделирования пульсаций в аэродинамических трубах

В аэродинамических трубах вход в диффузор делается или в виде коллектора или с дефлектором, охватывающим диффузор и выступающим навстречу соплу. Схемы контуров на АТ на входе в диффузор приведены на рисунке 1.

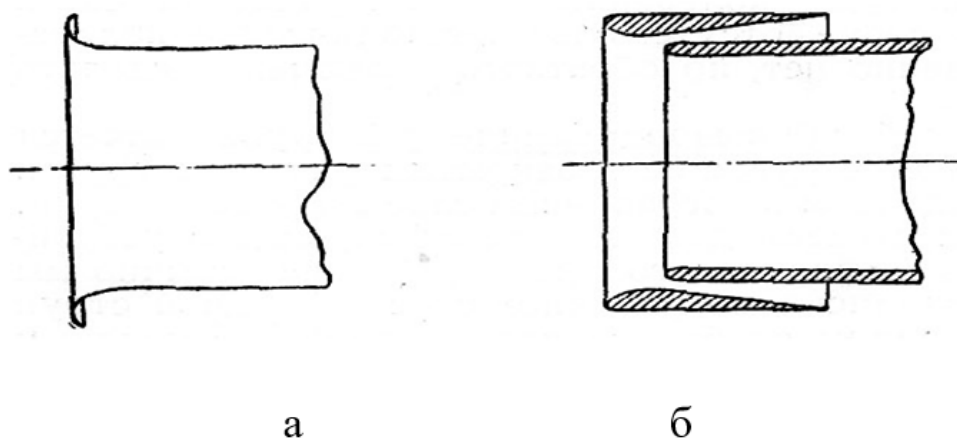


Рис. 1. Схемы контуров а) с коллектором и б) дефлектором

На рисунке 2 приведена схема, иллюстрирующая открытую рабочую часть, сопло, диффузор и дефлектор аэродинамической трубы.

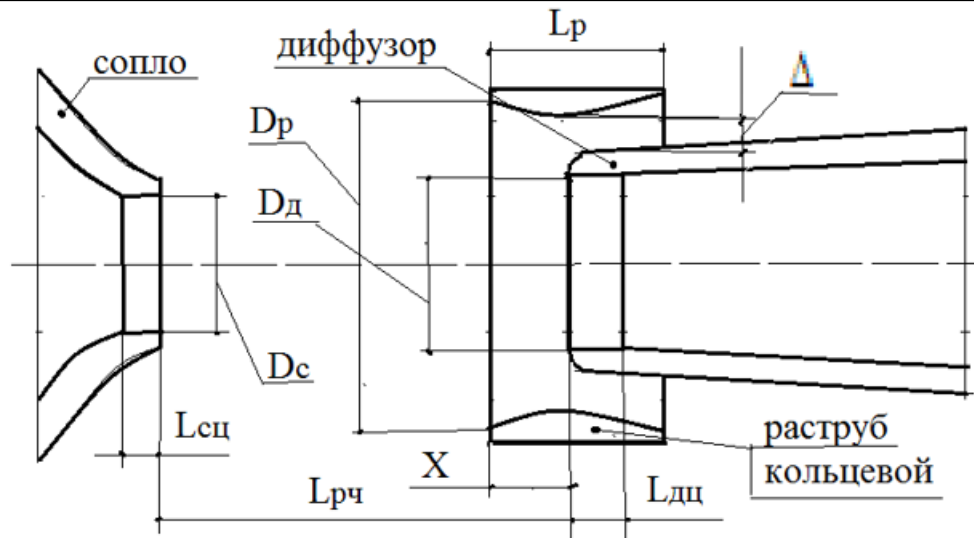


Рис. 2. Открытая рабочая часть и сопряжённые с ней устройства

Диаметр D_d входного сечения диффузора, диаметр D_c выходного сечения сопла, длина открытой рабочей части $L_{рч}$, при отсутствии модели в открытой рабочей части, в соответствии с теорией турбулентных струй, [1-3], связаны между собой следующим соотношением:

$$D_d = D_c + \alpha_1 L_{рч}; \quad (1.1)$$

где α_1 - безразмерный коэффициент, учитывающий расширение струи по длине рабочей части.

Значения относительных диаметров диффузора $\bar{D}_d = D_d/D_c$ в зависимости от относительной длины рабочей части $\bar{L}_{рч} = L_{рч}/D_c$ показаны на рисунке 3.

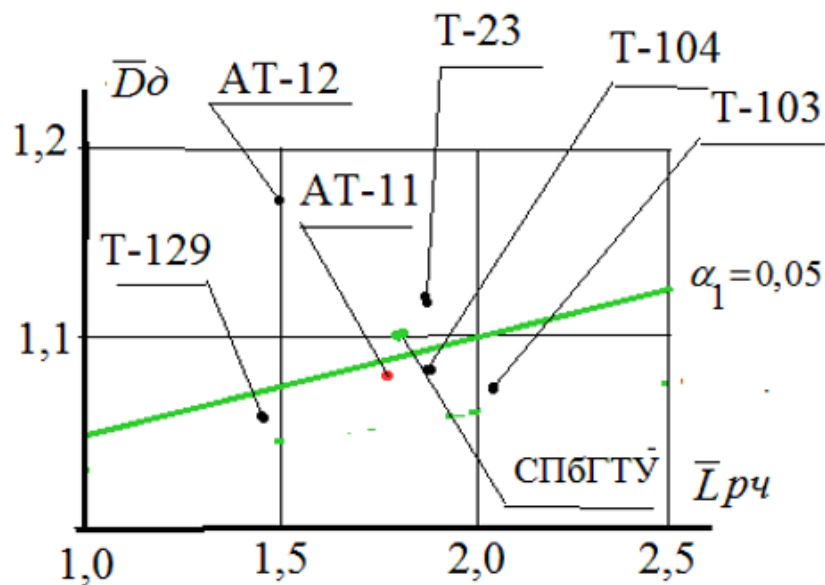


Рис. 3. Иллюстрация к определению диаметра диффузора

Диаметр D_p проходного сечения дефлектора рассчитывается по соотношению, [1]:

$$D_{\partial} = D_c + \alpha_2 \overline{L_{pч}}; \quad (1.2)$$

где $\alpha_2 = 0,37$.

Соотношение (1.2) определено в работе [1] из условия сохранения массы втекающего в аэродинамическую трубу и вытекающего из неё газа. Соотношения (1.1) и (1.2) справедливы при условии расположения входных сечений дефлектора и диффузора в одной плоскости.

Результат сравнения труб по диаметрам проходных сечений дефлекторов существующих аэродинамических труб приведен на рисунке 4.

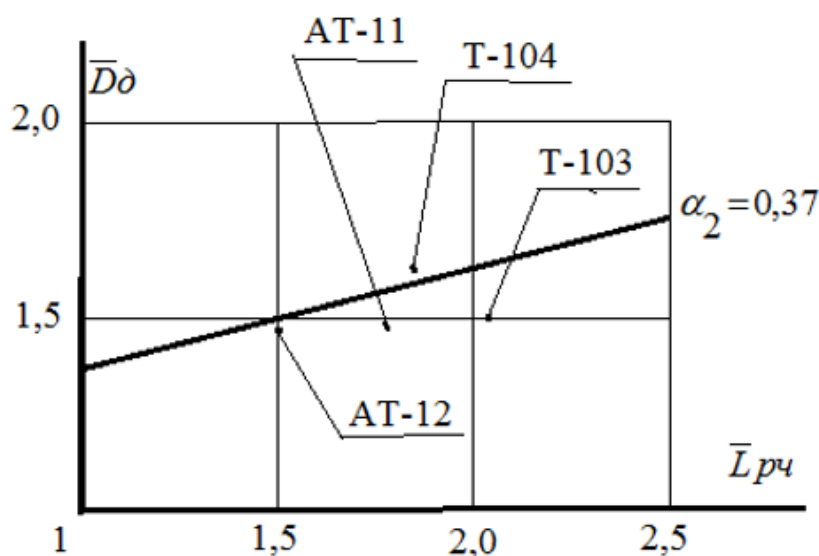


Рис. 4. Диаметры дефлекторов аэродинамических труб
(Аэродинамическая труба AT-12 - труба СПбГУ)

В отношении размеров рабочих частей и сопряжённых с ней устройств, с учётом размеров длин диффузоров, можно утверждать, что любая аэродинамическая труба представляет собой оригинальную конструкцию. Трудно в этих условиях соблюдать геометрическое подобие при моделировании пульсаций в аэродинамических трубах.

Здесь следует также отметить, что в существующих публикациях практически не приводится информация о геометрических размерах сопряженных с рабочей частью узлов.

Общепризнанным в аэродинамических трубах с открытой рабочей частью считается механизм пульсаций, рассматриваемый как автоколебательный процесс, основным элементом которого является периодическое вихреобразование на границе струи в открытой рабочей части и удары вихрей о кромку диффузора, [4]. Акустические колебания в закрытой части трубы регулируют периодическое вихреобразование, тем самым колебания поддерживаются незатухающими.

Из теории подобия следует, что явление пульсаций в аэродинамических трубах можно считать подобным, если сохраняется равенство по числам Струхали Sh и Маха M потока. Связь между числами Струхали Sh и Маха M имеет практическое значение, если опыты проводятся на модели аэродинамической трубы в том же диапазоне

скоростей, в котором работает аэродинамическая труба. В механизме развития пульсаций существенную роль играет также вязкость, т.е. механизм пульсаций и характер явления зависят от числа Рейнольдса Re . Таким образом, при моделировании явления пульсаций необходимо рассматривать числа:

$$Sh = \frac{l}{vt}; M = \frac{v}{a}; Re = \frac{\rho vl}{\mu} = \frac{vl}{\nu}$$

здесь v - скорость потока в м/с; t - характерное время в с, например, период пульсаций T ; l - характерная длина в м, например, длина рабочей части аэродинамической трубы; a - скорость звука в м/с; ρ - плотность воздуха кг/м³; μ - коэффициент динамической вязкости в Н·м⁻²; ν - коэффициент кинематической вязкости в м²/с.

В таблице 1 приведены данные из [4] по геометрическим размерам и скорости потока аэродинамических труб Т-103 (ЦАГИ) и АТ-11. Сравнительный анализ по числам Рейнольдса Re показывает, что трубы АТ-11 и Т-103 близки друг другу.

Таблица 1

№ п/п	Труба	Сопло	Длина раб. части	Скорость потока
1	Т - 103	Эллипс 4000 х 2350, мм ²	4740 мм	10 - 100, м/с
2	АТ - 11	Ø 2250 мм	4000 мм	10 - 75, м/с

Рисунок 5 иллюстрирует сравнительные данные по числам Re , вычисленным по длине рабочей части для труб Т-103 и АТ-11. Можно полагать, что явления пульсаций в этих трубах, при близких числах Рейнольдса Re , будут идентичными. По крайней мере, появляется возможность сравнивать получаемые результаты по трубе АТ-11 с результатами работы [4] по трубе Т-103.

В диапазоне по числам Маха M от 0,08 до 0,18 и по числу Re можно ожидать подобия автоколебательных процессов в двух аэродинамических трубах: АТ-11 и Т-103. Из равенства по числам Струхала Sh следует соотношение $l_1 f_1 = l_2 f_2$, справедливое при одинаковых скоростях потока в открытой рабочей части.

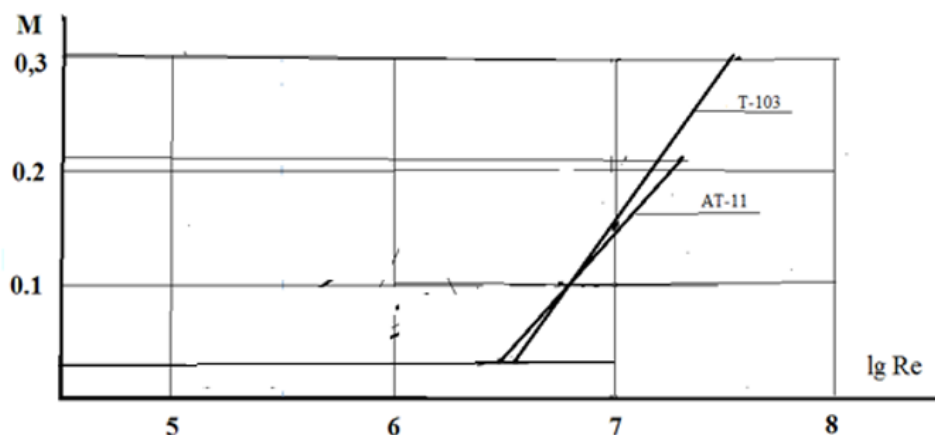


Рис. 5. Диаграмма-иллюстрация к подобию явлений в трубах Т-103 и АТ-11

Длины рабочих частей аэродинамических труб: АТ-11 – 4000 мм; Т-103 – 4740 мм. Следовательно, частота пульсаций в аэродинамической трубе АТ – 11 может превышать частоту пульсаций в Т – 103 в 1,18 раза в диапазоне по числу Маха M от 0,08 до 0,18.

Схемы аэродинамической трубы Т-103 и АТ-11 приведены на рисунках 6, 7.

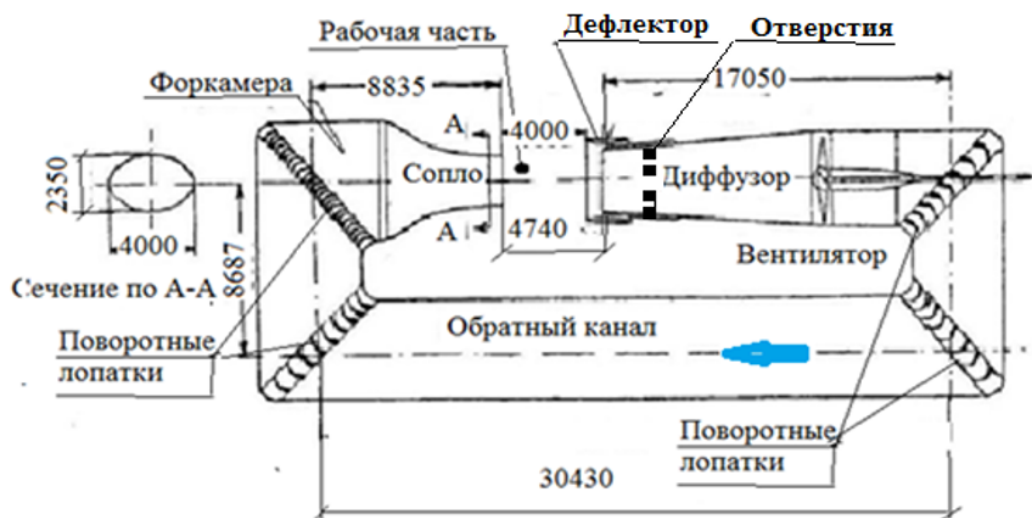


Рис. 6. Схема аэродинамической трубы Т-103 ЦАГИ, [4]

Основные элементы контура аэродинамической трубы Т-103 выделены на рисунке 7 надписями.

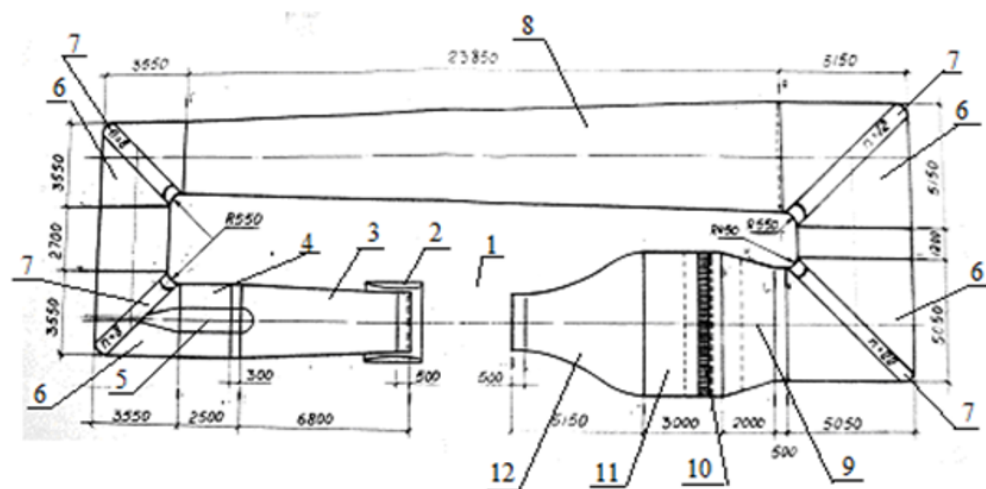


Рис. 7. Схема аэродинамической трубы АТ-11

Контур аэродинамической трубы АТ-11 состоит из следующих основных элементов: открытой рабочей части 1, дефлектора 2, диффузора 3, переходного участка 4, одноступенчатого осевого вентилятора 5, поворотных секций 6; поворотных лопаток 7 в поворотных секциях, возвратного канала 8, участка быстрого расширения потока 9, хонейкомбы 10, форкамеры 11, коллектора (сопла) 12. Элементы контура трубы расположены в горизонтальной плоскости.

2. Методика измерения инфразвуковых пульсаций давления, на примерах аэродинамических труб Т-103 и АТ-11

Экспериментальные опыты в рассматриваемых аэродинамических трубах различались по своей постановке. Различие объяснимо временным лагом в развитии измерительных техник и технологий.

В работе [4] измерением пульсаций давления проводилось при установке специально разработанными грубыми микрофонами, установленными на стенке сопла (1 микрофон) и на середине слоя смешения струи (1 микрофон) в открытой рабочей части аэродинамической трубы, см. рисунок 8.

В настоящей работе для измерения пульсаций давления использовались индуктивные дифференциальные датчики давления ДМИ - 0,1. Технология измерения пульсаций давления такими датчиками, тарировка датчиков давления и устройство для тарировки датчиков изложены в работах [5, 6].

Схему установки датчиков Д1, Д2, Д3 и Д4 в аэродинамической трубе можно также видеть по рисунку 8. Блок- схема системы измерений показана на рисунке 9. Датчики Д1, Д2, Д3 и Д4 (датчики типа ДМИ - 0,1) подключены к индуктивным высокочастотным преобразователям ИВП - 2. Выходы измерительных каналов ИВП - 2 соединены с измерительно-вычислительным комплексом PULSE посредством системы сбора информации LAN - XI (аппаратура Брюль и Кьер) и с цифровым осциллографом (с 4-х лучевым осциллографом LECROY WaveSurfer 24Xs - А).

Цифровой осциллограф позволяет производить регистрацию временных реализаций сигналов датчиков по открытому или закрытому входам У-усилителей, а также может работать как 2-D плоттер, в режиме регистрации X-Y сигналов. В режиме регистрации X-Y сигналов можно получить отклики сигналов на пульсации давления в точках установки датчиков в функции скоростного напора, измеряемого с помощью трубки Пито-Прандтля и датчика Д3 и регистрируемого цифровым осциллографом.

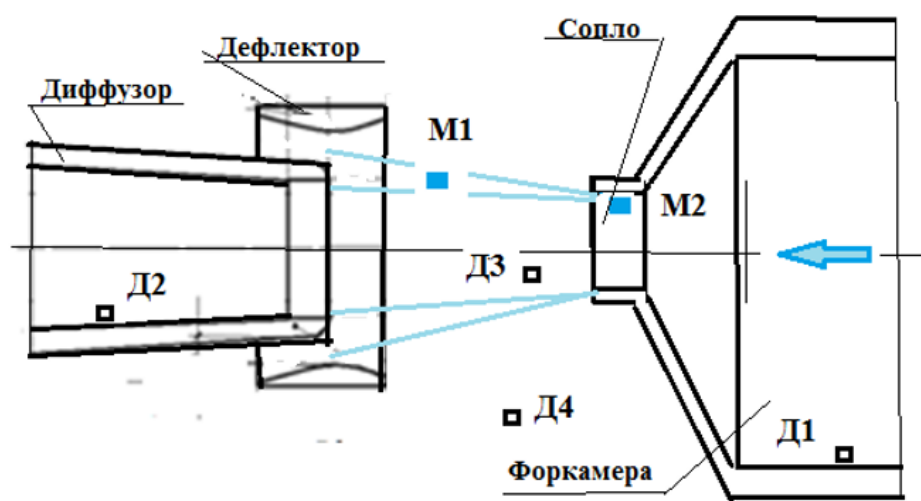


Рис. 8. Схемы расположения микрофонов на трубе Т-103, [4], и датчиков Д1, Д2, Д3, Д4 на трубе АТ - 11

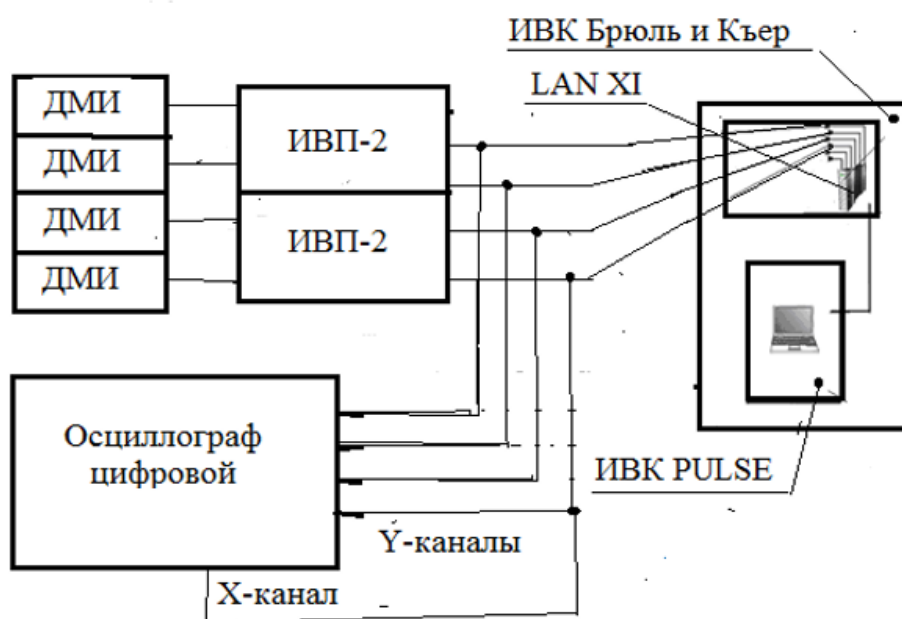


Рис. 9. Блок - схема системы измерений

В трубке Пито - Прандтля и в соединительном шланге от трубки до датчика ДЗ наблюдаются пульсации давления, вызванные вибрацией трубки Пито - Прандтля в потоке и пульсациями самого потока. Появляется необходимость в демпфировании пульсаций давления в трубке Пито -Прандтля и в соединительном шланге. Для удовлетворительного демпфирования достаточно жестко закрепить трубку Пито - Прандтля к конструкции аэродинамической трубы и выполнить длинным соединительный шланг от трубки до датчика ДЗ.

Организованные таким образом измерения позволяют при исследовании пульсаций давления в аэродинамической трубе АТ-11 определить длину соединительного шланга от трубки Пито - Прандтля до датчика ДЗ (длина ~ 6 м).

Влияние длины соединительного шланга от трубы Пито - Прандтля до датчика ДЗ иллюстрируется рисунке 10.

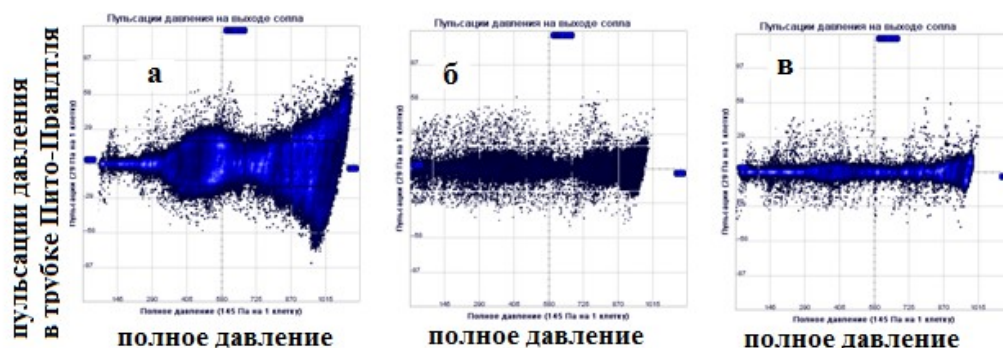


Рис. 10. Пульсации давления в трубке Пито - Прандтля.

Длина трубки Пито - Пандтля - 1м; длина соединительных шлангов: а) 1м; б) 4м; в) 6м

Ось X на рисунке 10 – скоростной напор или полное давление на оси потока, регистрируемое по открытому входу X - усилителя цифрового осциллографа. Цена деления по оси X - 145 Па. Ось Y на рисунке 10 – пульсации давления в соединительном шланге, регистрируемые датчиком и передаваемые на закрытый вход Y-усилителя

(регистрируется динамическая составляющая пульсаций). Цена деления по оси Y – 29 Па.

Проверка правильности точек размещения датчиков в диффузоре и в форкамере иллюстрируется следующим рисунком, см. рисунок 11.

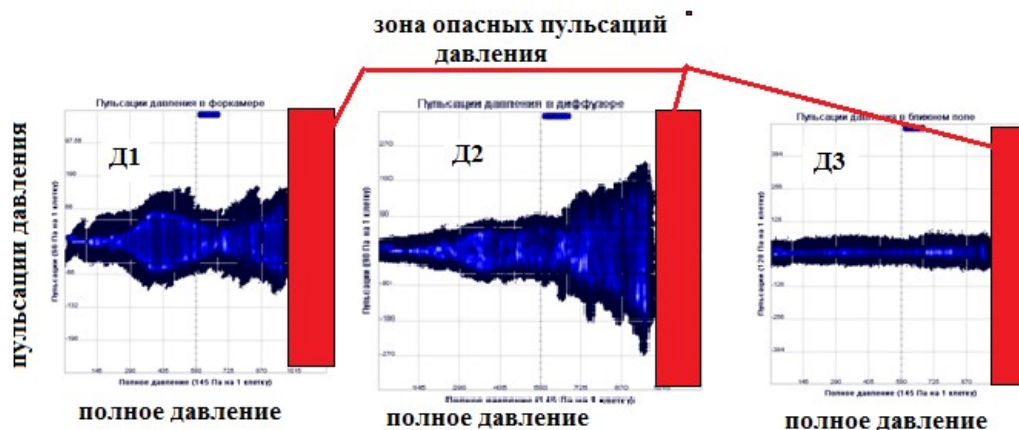


Рис. 11. Пульсации статического давления в форкамере (Д1), в диффузоре (Д2) и в ближнем поле (Д3)

На рисунке 11 ось X – скоростной напор в потоке на выходе сопла; ось Y – динамические пульсации статического давления в точках установки датчиков. Как видно из представленных картин, в диффузоре и в форкамере, начиная с малых скоростей потока на выходе сопла, развивается в закрытом канале аэродинамической трубы автоколебательный процесс. О каких-либо характерных точках или зонах (режимах) в этом автоколебательном процессе по этим снимкам говорить не приходится. Процесс живет во всем диапазоне скоростей. Зона опасных пульсаций давления начинается с 420 об/мин вала вентилятора аэродинамической трубы.

В ближнем поле потока вне открытой рабочей части аэродинамической трубы отсутствуют интенсивные пульсации давления.

На рисунке 12 приведены спектрограммы пульсаций в диффузоре (слева) и форкамере (справа) АТ-11 для одного из промежуточных результатов при исследовании инфразвуковых пульсаций давления.

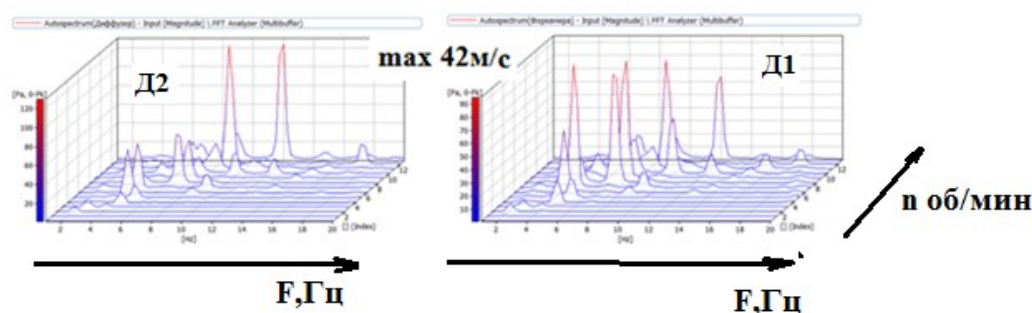


Рис. 12. Пульсации давления в диффузоре и форкамере. Демпфирующие отверстия отсутствуют; вылет дефлектора $l/D_c = 0,1$

На рисунке 13 показаны фотография датчика давления ДМИ 0,1 и заделка датчика в ламель из дерева при установке ламели на стенках форкамеры и диффузора.

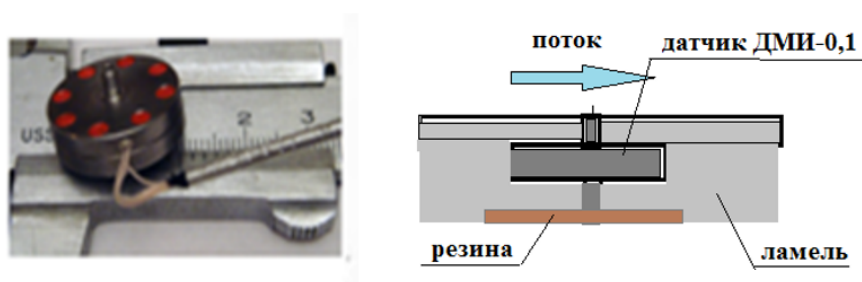


Рис. 13. Фотография датчика и заделка датчика в ламель

3. Достигнутые результаты по демпфированию инфразвуковых пульсаций давления в аэродинамических трубах Т-103 ЦАГИ и АТ-11 СПбГУ

Исследованию в дозвуковых аэродинамических трубах ЦАГИ инфразвуковых пульсаций давления и поиску устройств для их демпфирования посвящена работа [4]. По трубе Т-103 достигнуты следующие результаты:

1. Ослабление возмущений, создаваемых ударами вихрей о входную кромку диффузора достигается размещением у входа в диффузор дефлектора и выполнением сквозных отверстий в стенке диффузора;
2. Ослабление возмущений достигается размещением препятствий для периодического образования кольцевых вихрей на границе свободной струи, в частности, размещением демпфирующих пластин у кромки сопла.

Достигнутые результаты по демпфированию инфразвуковых пульсаций давления в аэродинамических трубах Т-103 и АТ-11 сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Демпфирующие устройства	Т-103	АТ-11
Дефлектор	вылет дефлектора по отношению к входному сечению диффузора не указан; $D_c = 2350$ - одна из осей эллипса	вылет дефлектора по отношению к входному сечению диффузора $-0,3D_c$; $D_c = 2250$.
Демпфирующие пластины	установлены трапецевидные пластины за выходным сечением сопла	установлены клиновидные пластины в выходном сечении сопла
Демпфирующие отверстия	1. суммарная площадь отверстий S_Σ до $0,6S$ (S - площадь эллипсовидного сопла); 4 ряда отверстий, отверстия м. быть защиты брезентом 2. расстояние от входа в диффузор до отверстий: ряды отверстий расположены в пределах по L_d от $0,55D_c$ до $0,9D_c$, L_d - длина диффузора	1. суммарная площадь отверстий $S_\Sigma = 0,77S$; 3-ряда отверстий зашитых тонкой резиной; 2. расстояние от входа в диффузор до отверстий: 1-ый ряд - $1/3L_d$, (S_1 до $0,52S$) 2-ой ряд - $2/3L_d$, (S_2 до $0,1S$) 3-ий ряд - вблизи лопастей вентилятора, (S_3 до $0,15S$)

Фотографии, приведенные на рисунке 14 с видом на сопло и диффузор аэродинамической трубы Т-103, дают представление о демпфирующих устройствах.

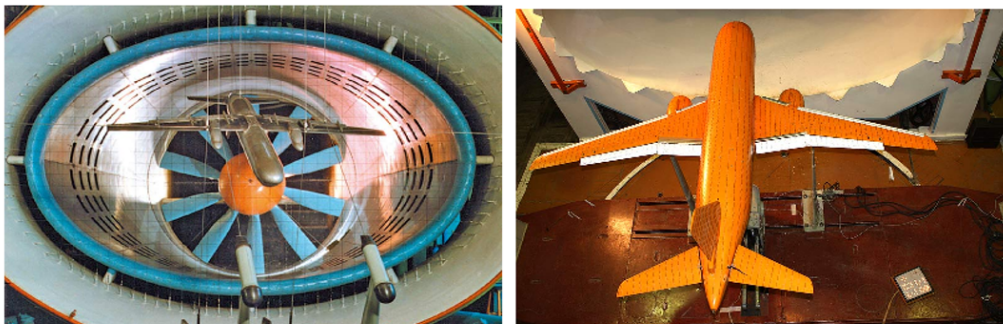


Рис. 14. Виды на диффузор и сопло аэродинамической трубы Т-103.

На рисунке 15 представлена схема исполнения открытой рабочей части аэродинамической трубы АТ-11, показывающая расположение выполненных по результатам экспериментальных исследований инфразвуковых пульсаций давления демпфирующих устройств.

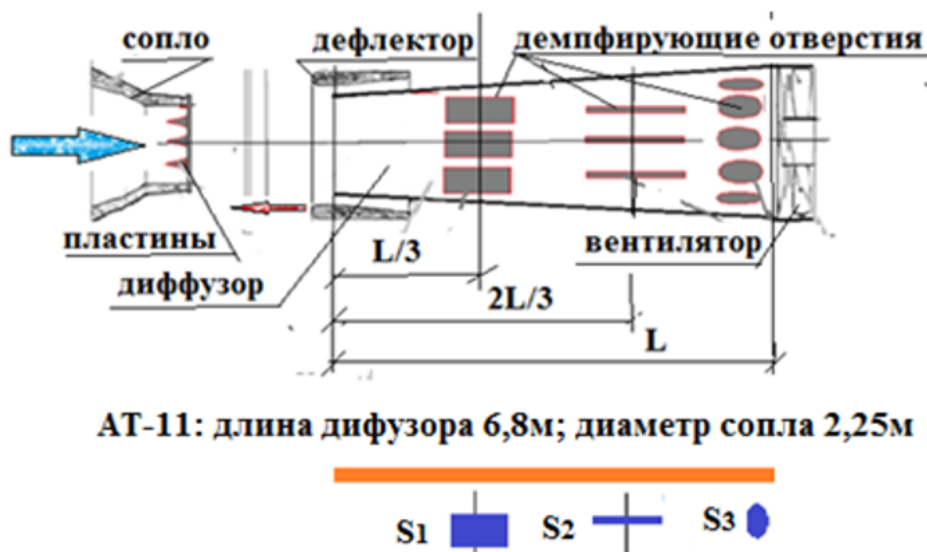


Рис. 15. Схема исполнения демпфирующих отверстий на трубе АТ-11

На рисунке 16 приведены спектрограммы пульсаций в диффузоре и форкамере для варианта АТ с исполнением 1-ого, 2-ого и 3-его рядов демпфирующих отверстий (**S1+S3+S2**) в диффузоре при вылете дефлектора в сторону сопла $1/D_c = 0,29$ и демпфирующими пластинами на выходе сопла. Достижимая скорость потока превысила 63 м/с. Дальнейшие эксперименты по снижению пульсаций давления на данном этапе были признаны нецелесообразными, поскольку пульсации давления составили величину, сравнимую с чувствительностью датчиков давления ДМИ - 0,1. Сравнение результатов измерения пульсаций давления в трубе Т-103 ЦАГИ и в АТ-11 показано на рисунке 17.

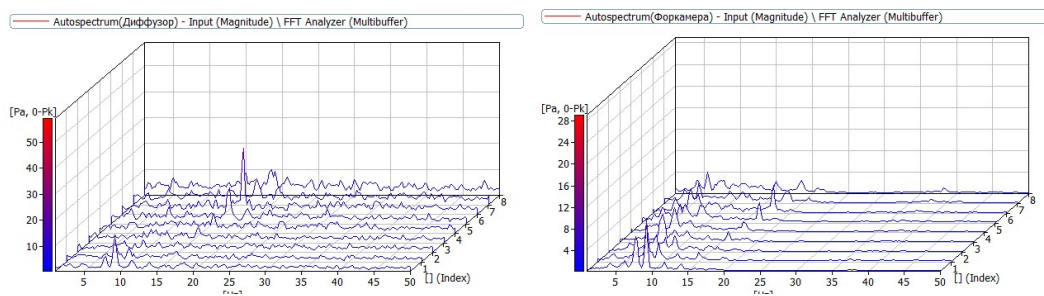


Рис. 16. Пульсации давления в диффузоре и форкамере. Демпфирующие отверстия: S1+S3+S2
+клинья в сопле; вылет дефлектора $l_d = 0,29$

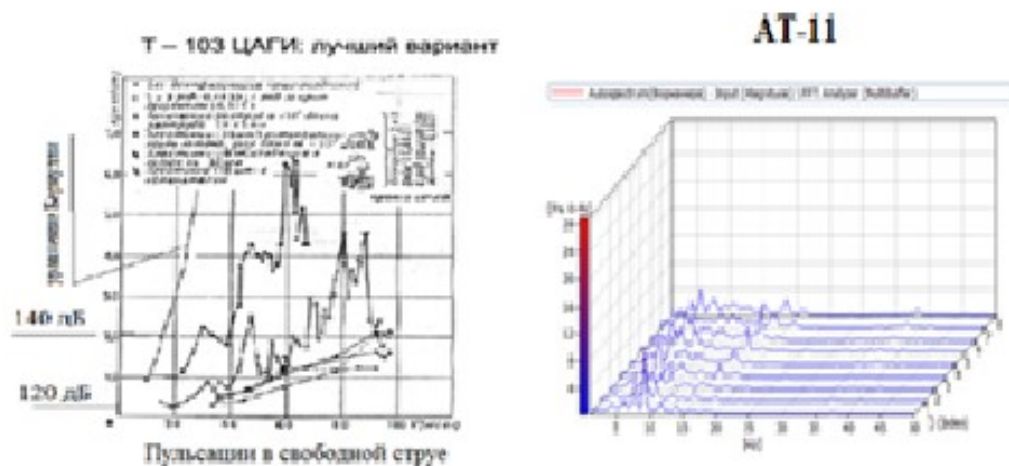


Рис. 17. Пульсации давления в трубах Т-103 и АТ-11: демпфирование отверстиями в диффузоре, клиньями в сопле и дефлектором

Заключение

Новая методика измерений **инфразвуковых пульсаций давления** в аэродинамической трубе заключается в том, что регистрация пульсаций давления производится в форкамере, в диффузоре, в открытой рабочей части и в ближнем поле потока индуктивными малогабаритными дифференциальными датчиками давления типа ДМИ-0,1, работающими в комплекте с индуктивными вторичными преобразователями давления. Датчики имеют амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) от 0 до 5 кГц и позволяют проводить измерения давления в диапазоне инфразвуковых частот.

В обсуждаемом варианте **новой методики** существовала необходимость в проверке правильности установки датчиков. Проверка заключается в том, что не оказались ли точки размещения датчиков в диффузоре и в форкамере в узле или в пучности акустической волны в закрытом канале аэродинамической трубы. Такая проверка легко выполняется по новой методике в процессе проведения измерений.

Новая методика измерения **инфразвуковых пульсаций** давления потребовала и новых подходов к метрологическому обеспечению систем измерения, что было обеспечено разработкой устройства для тарирования датчиков акустических пульсаций давления. В дальнейшем, предполагается публикация материалов по демпфированию

инфразвуковых пульсаций в диапазоне до 75 м/с по скорости потока в открытой рабочей части аэродинамической трубы АТ-11.

По результатам исследований намечается новый подход к проектированию дозвуковых аэродинамических труб для акустических исследований.

(75 м/с - ограничение по скорости потока обусловлено работой привода постоянного тока).

Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Турбулентные свободные струи жидкостей и газов. М. – Л., Гостехтеоретиздат, 1948. 288с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. - Книга по требованию. 2012 - 466 с.
3. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. Изд. 3-е, доп. исправл., Изд-во Машиностроение (Ленингр. отд-ние). 1974. 480 с.
4. Стрелков С.П., Бендриков Г.А., Смирнов Н.А. Пульсации в аэродинамических трубах и способы демпфирования их.- Тр. ЦАГИ, 1946, в.593, 56с.
5. Цветков А.И., Щепанюк Б.А. Аэродинамическая труба АТ-11 СПбГУ: Измерение дифференциальных быстропеременных давлений. Журнал „Молодой учёный” №6, 04.2016, с.340 - 346.
6. Цветков А.И., Леонов Г.А., Щепанюк Б.А. Устройство для динамической тарировки датчиков акустических пульсаций давления. Евразийский патент № 033337. Зарег. в Евразийской патентной организации, Евразийское патентное ведомство. 30.09.2019 г.

References

1. Abramovich G.N. Turbulent free jets of liquids and gases. M. - L., Gostekhtheoretisdat, 1948. 288 pages.
2. Idelchik I.E. Guide to Hydraulic Resistances. M. - Book on demand. 2012 - 466 p.
3. Poch I.L. Aerodynamic experiment in mechanical engineering. 3rd prod., rev., Mechanical Engineering. 1974. 480 pages.
4. Strelkov S.P., Bendrikov G.A., Smyrnov N.A. Pulsations in wind tunnels and methods of damping. TsAGI, 1946, № 593, 56 p.
5. Tsvetkov A.I., Schepanyuk B.A. Wind tunnel AT-11 SPbSU: Measurement of differential fast-change pressures. Journal Young Scientist, No. 6, 04.2016, p.340 - 346.
6. Tsvetkov A.I., Leonov G.A., Schepanyuk B.A. Device for dynamic calibration of sensors of acoustic pressure pulsations. Eurasian Patent No. 033337. Reg. in the Eurasian patent organization, Eurasian patent office. 30.09.2019.

УДК: 534.836.2
OECD: 01.03.AA

Классификация аэропортов по уровням шума и разработка шумозащитных мероприятий

Буторина М.В.*

Доцент, Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Результаты картирования шума на территории Санкт-Петербурга показывают, что под влиянием шума аэропорта Пулково находится порядка трети городских территорий. Авиационный шум является наиболее раздражительным по сравнению с другими видами шума, что вызывает увеличение количества жалоб со стороны населения. В настоящее время на территории РФ действует методика по оценке уровней шума аэропортов на основании максимальных уровней звука, создаваемых самолетами российского производства, разработанная на основании эмпирических данных, относящихся к 1980-м годам прошлого века. На основании технических параметров аэропортов разработана классификация аэропортов по эквивалентным уровням звука, которая может являться основанием для разработки карт шума авиатранспорта. На основании предложенной классификации рекомендованы шумозащитные мероприятия для аэропортов различных категорий.

Ключевые слова: авиационный шум, карты шума, классификация, шумозащитные мероприятия.

Classification of airports by noise levels and noise protection measures

*Butorina M.V.**

*Assistant professor, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov,
St. Petersburg, Russia*

Abstract

The results of noise mapping in St. Petersburg show that about a third of urban areas are affected by the noise of Pulkovo Airport. Aviation noise is the most annoying compared to other types of noise, which causes an increase in the number of complaints from the public. Currently, the Russian Federation has a methodology for assessing airport noise levels based on maximum sound levels created by Russian-made aircraft, developed on the basis of empirical data relating to the 1980s of the last century. Based on the technical parameters of airports, a classification of airports by equivalent sound levels has been developed, which may be the basis for the development of noise maps of air transport. Based on the proposed classification, noise protection measures for airports of various categories are recommended.

Keywords: aviation noise, noise mapping, classification, noise protection.

*E-mail: marina_butorina@inbox.ru (Буторина М.В.)

Введение

Аэропорт – это комплекс сооружений, предназначенный для приема и отправки воздушных судов и обслуживания воздушных перевозок, включающий аэродром со взлетно-посадочной полосой, служебно-техническую территорию, объекты радионавигации и другие сооружения. Наиболее значимым источником шума в составе аэропорта является осуществление воздушными судами взлетно-посадочных операций. Поскольку траектории взлета и посадки самолетов имеют значительную протяженность, а уровни шума самолетов высоки, под влиянием повышенного шума аэропортов оказывается территория на расстояниях до 30 км от аэропорта. Как показывают результаты картирования шума на территории Санкт-Петербурга, под влиянием шума аэропорта Пулково находится порядка трети городских территорий.

Результаты анализа воздействия уровней авиационного шума на человека свидетельствуют о том, что авиационный шум является наиболее раздражительным по сравнению с другими видами шума [1]. Для оценки авиационного шума используются такие единицы, как эквивалентный и максимальный уровни, эффективный уровень воздействия SEL, уровень воспринимаемого шума PNL и эффективный уровень воспринимаемого шума EPNL. Эффективный уровень воздействия SEL характеризует общую энергию звукового события, приведенному к опорному интервалу и определяется как эквивалентный по времени уровень звука. Уровень воспринимаемого шума (PNL) связан с субъективной реакцией человека на самолетный шум и определяется путем добавления коррекции к максимальным уровням звука. Эффективный уровень воспринимаемого шума (EPNL) базируется на измерении уровней звукового давления по частотам и учете времени действия. Однако в целях нормирования все уровни воздействия авиационного шума приводятся к эквивалентным и максимальным уровням звука для сравнения с предельно допустимыми уровнями.

Допустимые значения эквивалентных уровней звука, создаваемых на селитебных территориях в районе аэропортов при эксплуатации воздушного транспорта, в различных странах составляют от 70 дБА в Норвегии, Дании и Швеции до 75 дБА в Австрии, Германии, Японии и США [2]. В большинстве стран за допустимый уровень принимается величина 75 дБА для критерия L_{dn} , который рекомендован ИКАО [3]. В России допустимые эквивалентные уровни звука для авиационного транспорта, как и для любого другого, составляют 55 дБА в дневное и 45 дБА в ночное время согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Действующий в России ГОСТ 22283-2014 допускает для вновь проектируемых аэропортов и территорий превышение указанных в СН 2.2.4/2.1.8.562-96 уровней на 10 дБА. Таким образом, в России для существующих аэропортов действует показатель допустимого эквивалентного уровня звука в дневное и ночное время, который на 20-30 дБА ниже значений, рекомендуемых ИКАО и установленных в странах ЕС, что приводит к невозможности обеспечения допустимого уровня авиационного шума на территории жилой застройки.

1. Процессы шумообразования авиационного транспорта

На процессы шумообразования самолетов влияют тип самолета, обусловленный, в первую очередь, типом его двигателя, а также режим пилотирования (взлет, посадка, максимальная тяга).

Основным источником шума при взлете и посадке самолета является его силовая установка (двигатель). К внутренним источникам шума газотурбинного двигателя относятся все источники акустического излучения, расположенные в тракте газогенератора, за исключением вентилятора, компрессора, турбины и реактивной

струи. Камера сгорания создает широкополосный низкочастотный шум, обусловленный турбулентным горением и резонансными явлениями в камере сгорания, а также взаимодействием потока на выходе из камеры сгорания с лопатками турбины. Обтекание потоком различных конструкций в тракте двигателя также приводит к возникновению широкополосного шума. Шум этих источников испытывает дифракцию на кромке сопла, рассеяние и преломление при пересечении пограничного слоя струи и направлен преимущественно в заднюю полусферу двигателя [4].

Шум винта состоит из двух компонентов: шума от вращения, который имеет частоту, равную числу оборотов в секунду, умноженную на число лопастей винта, и шума от вихрей. Основным является шум от вращения, который имеет низкую частоту.

Шум обтекания элементов планера определяется пульсациями параметров турбулентных потоков в щелевых объемах, образуемых предкрылками и закрылками при взлетно-посадочных режимах полета, в пограничных слоях на поверхностях обшивки и в следах за элементами планера самолета. Шум наибольшей интенсивности образуется при обтекании шасси, закрылков задней кромки и прорезей передней кромки крыла. При выпущенной механизации крыла из-за вихревых течений в щелевой области создается значительный аэродинамический шум, который доставляет сильное беспокойство, особенно вблизи земли.

На уровень шума турбореактивных двигателей влияет скорость истечения струи, которая определяется степенью двухконтурности (отношение расхода воздуха через внешний контур к расходу через внутренний контур) двигателя. Ранее применявшиеся одноконтурные двигатели имели более высокую скорость истечения струи, поэтому их уровни шума почти в два раза выше, чем у более новых двухконтурных двигателей. С повышением степени двухконтурности двигателя уровни шума снижаются до 15 дБА.

Шум струи образуется в результате скачков уплотнения и смещения реактивной струи с атмосферным воздухом. Шум, обусловленный скачками уплотнения, характерен только для турбореактивного двигателя с низкой степенью двухконтурности, а также при работе в режиме максимальной тяги, когда велика скорость истечения струи. Смещение струи с атмосферным воздухом является основным источником шума выхлопа двигателя при больших значениях степени двухконтурности. Этот источник играет существенную роль при взлете.

В отличие от промышленных вентиляционных установок авиационные вентиляторы характеризуются большим числом и длиной лопаток, сложностью формы и конструктивного исполнения. Уровень шума вентилятора зависит от окружной скорости его вращения. На дозвуковых скоростях шум вентилятора проявляется в большей степени при заходе самолета на посадку. При сверхзвуковых скоростях появляется шум вращающихся ударных волн, который возникает при взлете и носит низкочастотный характер. Общий шум вентилятора на сверхзвуковых скоростях выше, чем на дозвуковых. Поэтому при взлете уровни шума на 3-6 дБА выше, чем при посадке.

Основным источником шума винтовых самолетов является вращение воздушного винта, который используется в качестве движителя дозвуковых самолетов. Винт создает аэродинамический шум вследствие турбулентности натекающего потока, образования вихрей, срыва вихрей, взаимодействия ударных волн с потоком на концах лопастей и др. Интенсивность шума определяется частотой вращения винта, а также его аэродинамическими и геометрическими параметрами. В настоящее время шум винтовых самолетов в среднем на 5-10 дБА выше, чем реактивных.

2. Факторы, влияющие на шумовую характеристику авиационного транспорта

В соответствии с СП 51.13330.2011 [5] шумовой характеристикой воздушного транспорта являются эквивалентный и максимальный уровни звука в расчетной точке. В соответствии с международной базой данных летно-технических характеристик, расстояния, на которых определяются уровни шума воздушного судна, составляют от 200 футов (ок. 61 м) до 25000 футов (7620 м), базовое расстояние составляет, как правило 300 м, измерения проводятся на высоте 1,2 м над поверхностью земли [6].

Согласно действующим измерительным и расчетным методам на практике шумовая характеристика потока воздушного транспорта не применяется, определяются шумовые характеристики отдельных воздушных судов, которые потом суммируются по каждому пути пролета. Однако зная параметры аэропорта, где функционируют воздушные суда, можно приблизительно оценить зону повышенного уровня шума, которую они создают.

В России принята классификация аэропортов по годовому объёму пассажирских перевозок (пассажирообмену) – выделяется 7 классов, по длине взлетно-посадочной полосы (ВПП) выделяются категории А-Е, по взлётной массе принимаемых самолётов (5 классов). В соответствии с руководящими документами ИКАО классификация аэродромов осуществляется по кодовому обозначению. Кодовое обозначение состоит из двух элементов. Элемент 1 является номером, основанным на длине летной полосы – от 800 м для 1 класса до более 1800 м для 4 класса, а элемент 2 является буквой, соответствующей размаху крыла самолета (от 15 м для класса А до 60 м для класса Е) и расстоянию между внешними колесами основного шасси (от 4,5 м для класса А до 14 м для класса Е). Таким образом, эмиссию шума взлетно-посадочных операций можно определить исходя из таких характеристик аэропорта, как интенсивность операций, длина ВПП и тип принимаемых самолетов.

От типа самолета зависит большинство параметров эмиссии шума, таких как процедурные этапы (взлет, посадка и т.п.), траектория полета, боковая направленность звука, обусловленная местом установки двигателей и боковое затухание.

Местоположение двигателей влияет на характер излучения шума, обусловленный процессами отражения, преломления и рассеивания твердыми поверхностями и аэродинамическими полями скоростей потока. Это приводит к неоднородной направленности звука, излучаемого в боковом направлении от продольной оси самолета, называемой «боковой направленностью». Величина боковой направленности для винтовых самолетов составляет 0 дБА, а для реактивных двигателей достигает 3,5 дБА.

Боковое затухание представляет собой эффект переотражения прямого звука и звука, отраженного от поверхности земли. При малых углах визирования он может вызвать значительное снижение уровней звука, на которое оказывает влияние преломление звука, вызванное градиентами ветра и температуры, а также турбулентностью. В настоящее время в расчетных методиках учитывается боковое затухание звука над мягкой поверхностью. Влияние данного эффекта может достигать величины от 1 до 11 дБА (рис. 1).

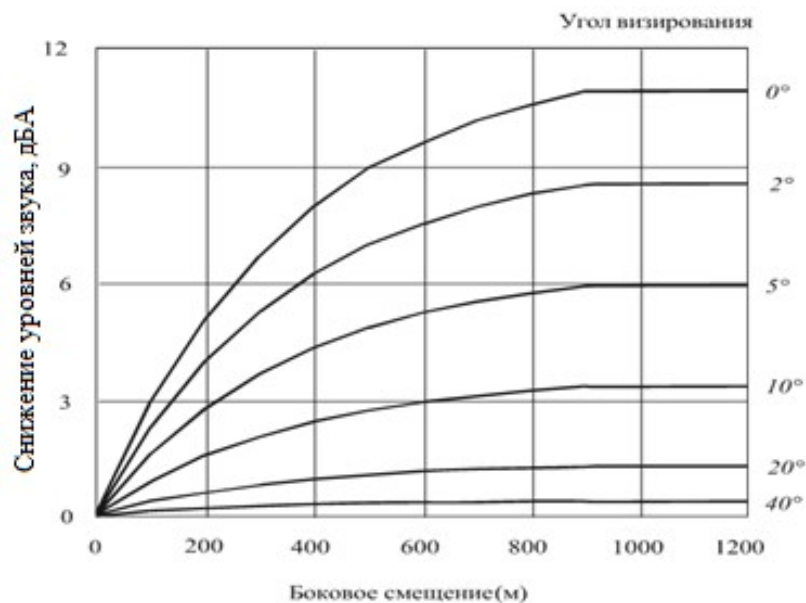


Рис. 1. Снижение уровней звука (в дБА) в результате бокового затухания в зависимости от угла визирования [6]

Уровень воздействия шума воздушного судна, приведенный в базе летно-технических характеристик, относится к самолету, выполняющему непрерывный, прямолинейный и установившийся горизонтальный полет. Применение отрицательного значения поправки для участка конечной длины $\Delta F = 10\log(F)$, где F – коэффициент звуковой энергии, позволяет дополнительно скорректировать этот уровень до значения, которое соответствовало бы полету самолета только по участку конечной длины. Коэффициент звуковой энергии F зависит от треугольника «обзора». Вклад данного фактора в шумообразование зависит от дистанции пробега самолета по ВПП и может достигать на базовом расстоянии в 300 м величины от -3,5 дБА для ВПП длиной 500 м до -0,5 дБА для ВПП длиной 3200 м.

Эмиссия шума реактивных самолетов, особенно самолетов с более низкой степенью двухконтурности, характеризуется лепестковой диаграммой направленности (рис. 2), что вызвано шумом, производимым выхлопной струей. Такая направленность характерна для случая, когда скорость истечения реактивной струи выше скорости самолета. Это происходит, когда расчетная точка оказывается позади точки начала разбега. Направленность истечения струи может дать увеличение уровней звука на величину до 6 дБА при взлете самолета [6].

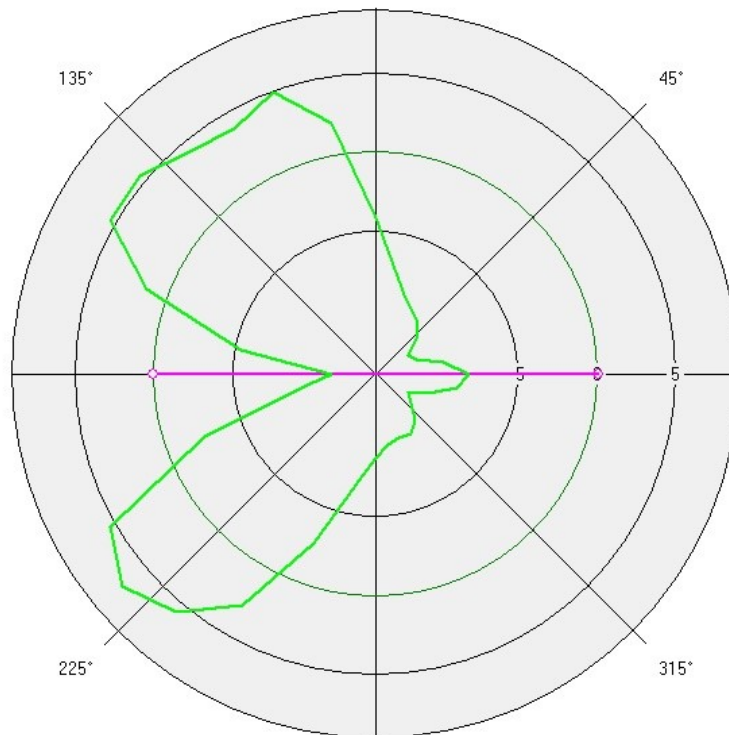


Рис. 2. Направленность излучения реактивного самолета [6]

На уровень шума самолета значительное влияние оказывает мощность, используемая при пилотировании. На рис. 3 представлена зависимость максимального уровня шума самолета при различных мощностях на различных расстояниях. Как показывает анализ рисунка, при удвоении мощности уровень шума увеличивается на 5 дБА.

Одним из факторов, влияющих на уровень эмиссии шума самолета, является также реверс тяги, который включают, когда необходимого торможения невозможно достичь с помощью колесных тормозов. В результате быстрого изменения мощности двигателей с режима малого газа на режим реверса возникает резкое увеличение уровня шума на величину до 5 дБА. Однако, учитывая, что реверс тяги включают довольно редко, а каждая ВПП используется как для взлета, так и для посадки самолетов, данный фактор при оценке шумовой характеристики самолетов, функционирующих на данной ВПП допускается не учитывать.

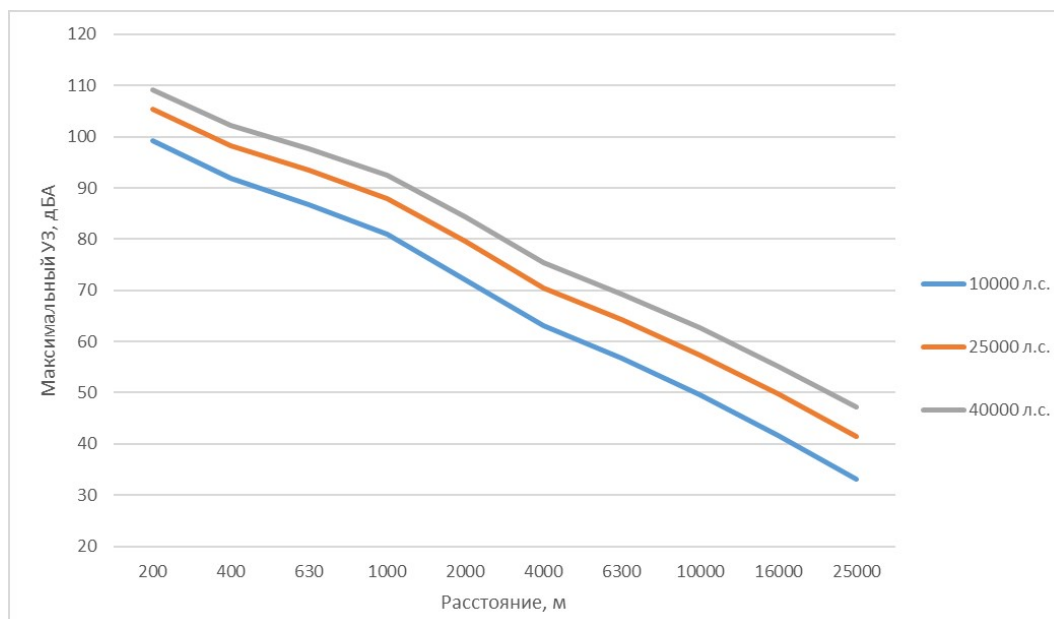


Рис. 3. Направленность излучения реактивного самолета [6]

Кроме того, из рис. 3 видно, что расстояние является основным фактором, который влияет на затухание авиационного шума в пространстве. Анализ данных показывает, что при увеличении расстояния в 2 раза максимальный уровень звука самолета снижается на величину порядка 7 дБА, т.е. примерно соответствует характеру излучения точечного источника шума.

3. Расчетные методики для оценки шумовой характеристики авиационного транспорта

По методике, действующей в РФ, разработанной еще в СССР и приведенной в «Рекомендациях по установлению зон ограничения жилой застройки в окрестностях аэропортов гражданской авиации из условий шума» [7], можно оценить максимальные уровни звука в данной точке при пролете самолета, на основании кривых приведенных максимальных уровней звука на местности в зависимости от удаления от торца ВПП или от начала разбега, которые были получены эмпирическим способом для самолетов, выпускаемых в СССР в 1980-е годы прошлого века.

Наибольшие уровни были установлены для самолетов первой группы (ИЛ-86, Ан-22), наименьшие для пятой группы (типа АН-28, Л-410). Базовой группой является II группа самолетов, для остальных групп устанавливаются отклонения от базового уровня, которые составляют от +5 до -15 дБА. Максимальные уровни звука для базовой группы самолетов при удалении от торца ВПП, а также при боковом удалении от оси ВПП приведены на рис. 4. Для остальных классов максимальные уровни определяются при помощи интерполяции с учетом отклонения от базового уровня звука, установленного для данного класса самолетов.

Огибающая кривых равных приведенных максимальных уровней звука для всех трасс представляет собой границу воздействия соответствующего уровня звука.

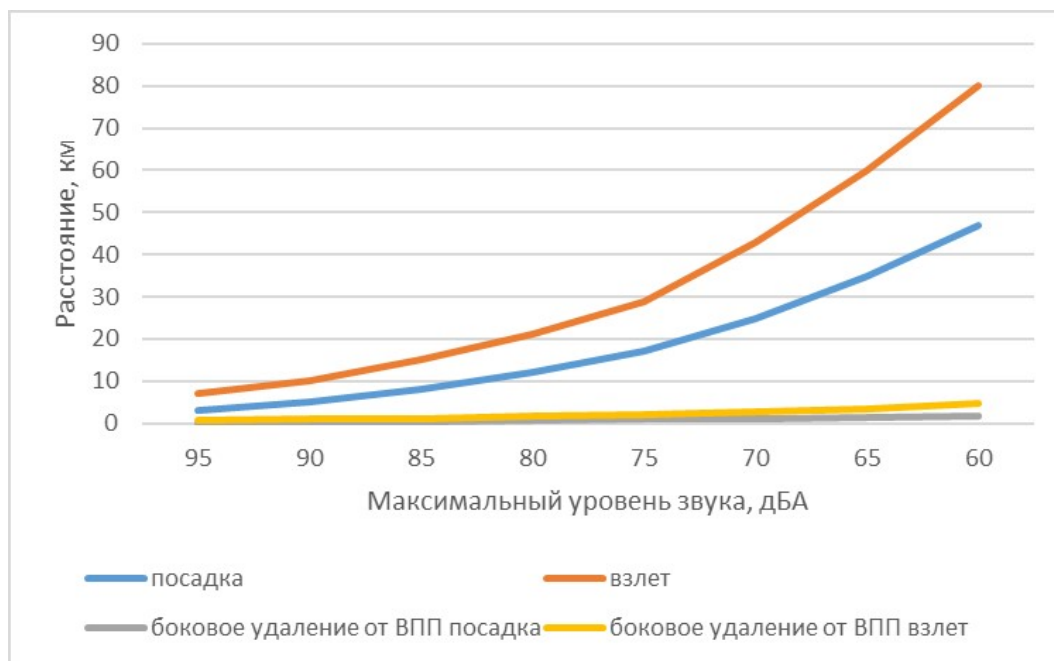


Рис. 4. Расстояние достижения максимальных уровней звука воздушных судов 2 класса на различных режимах [7]

Вышеописанный подход довольно грубый, он не учитывает тот факт, что устаревшие самолеты российского производства выводятся из обращения и все больше заменяются на самолеты импортного производства, которые имеют максимальные уровни звука 70 дБА и менее уже на расстоянии 10 км от торца ВПП.

Новый подход к построению контуров равных уровней звука отражен в «Руководстве по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов» [6]. Согласно Руководству ИКАО контуры шума строятся для каждой трассы пролета самолета, исходя из шумовой характеристики самолета, отраженной в летно-технических характеристиках воздушного судна, которые приводятся в паспорте воздушного судна, а также в международной базе данных. В качестве исходных данных для расчета также выступают описание геометрии траектории полета, профиля скорости и тяги (мощности).

В базе данных по каждому конкретному самолету содержится базовая информация о кривых зависимости шум-мощность-расстояние. По умолчанию в базе данных содержится информация о процедурных этапах, таких как взлет, набор высоты, посадка и т.п. Определяемые через базу данных базовые уровни звука единичного воздействия корректируются с учетом разницы между фактическими и исходными атмосферными условиями, скоростью самолета и разницы между уровнями звука, излучаемого вниз и в боковом направлении.

При моделировании шумовых контуров производится сегментация траектории полета. Сегментация представляет собой процесс, с помощью которого модель построения контуров шума адаптирует данные по каждому самолету, соответствующие бесконечной траектории, и данные боковой корректировки в целях вычисления уровня шума, генерируемого при неравномерной траектории полета. Для целей расчета уровня звука при единичном пролете самолета траектория полета представляется в виде ряда смежных прямолинейных участков, каждый из которых может рассматриваться как конечная часть бесконечной траектории, для которой известны значения NPD и боковые корректировки. За максимальный уровень шумового события принимается наибольшее значение из соответствующих величин по отдельным участкам. Эквивалентный по времени уровень

звука всего шумового события вычисляется путем суммирования значений уровня шума участков, которые вносят существенный вклад в суммарный уровень звука данного шумового события.

Данный подход отражен в современных расчетных программах, таких как SoundPLAN (Германия) и INM (США). Сравнение результатов расчета по различным методикам приведено в [8]. Контуры, рассчитанные по программам INM и SoundPLAN, по площади значительно меньше контуров, определённых по российским программам. Отличием зарубежных программ является отсутствие в их базах действительных данных для российских самолетов, отличаются методы пилотирования, что изменяет вид траектории полета, и сами расчетные методы имеют различную точность.

Для оценки российского и западного подходов к расчету уровней шума авиационного транспорта был проведен анализ уровней шума на примере аэропорта Пулково, который соответствует классу «внеклассные» исходя из российской классификации. Для оценки уровней авиационного шума были выбраны расчетные точки на селитебной территории на различном удалении от аэропорта. Результаты измерений приведены на рис. 5.

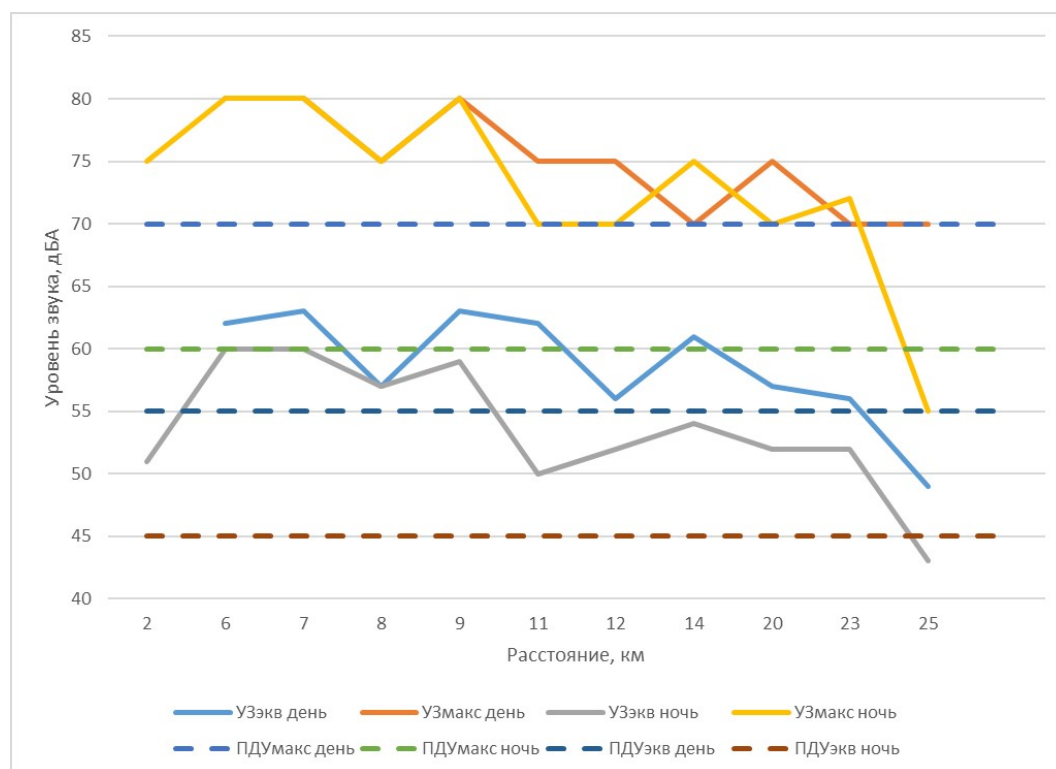


Рис. 5. Результаты измерений уровней звука авиационного транспорта на различном расстоянии от аэропорта Пулково [10]

Анализ результатов измерений показывает, что допустимые уровни соблюдаются на расстоянии 25 км от аэропорта Пулково, при применении российского подхода оценки уровней расстояние обеспечения ПДУ составило бы 35 км, т.е. из состава территорий, пригодных для жилой застройки, выводится площадь более 10000 м².

Результаты расчетных данных и измерений указывают на необходимость оценки уровней шума аэропортов по эквивалентным уровням звука. В целях разработки классификации аэропортов эквивалентные уровни звука, создаваемые аэропортами различных категорий, могут быть рассчитаны с учетом их основных параметров, приведённых в нормативной документации (таблица 1).

Таблица 1

Классификация аэропортов по уровням шума

Класс	Тип	Средняя расчет- ная ин- тенсив- ность, взл- пос/ч	Пара- метры ВВП (шири- на), м	Поправ- ка на длину полосы, дБА	Эквивален- тный УЗ (на $r_0=$ 300 м), дБА		Расстояние обеспе- чения ПДУ, км	
					по- садка	взлет	по- садка	взлет
внеклас- сные	-	22	3500-4000	0,0	72	75	19	25
I	A	19	3200 x 60	-0,6	66	70	11	18
II	B	17	2600 x 45	-0,7	62	66	7	11
III	B	16	1800 x 42	-1,0	58	62	4,2	7
	Г	14	1300 x 35	-1,4	57	61	3,8	6
IV	Д	10	1000 x 28	-1,9	51	56	2	3,3
V	-	5	-	-2,5	44	48	0,9	1,4
неклас- сифици- рованные	Е	4	500 x 21	-3,5	39	43	0,5	0,75

Как показывают результаты расчетов, при оценке уровней шума аэропортов по эквивалентным уровням звука размер зоны обеспечения ПДУ значительно меньше, чем при оценке максимальных уровней звука и лучше коррелирует с результатами, полученными в ходе измерений. Таким образом, предложенная оценка на основании эквивалентных уровней звука более точная, чем ранее принятый подход к определению размера зоны санитарного разрыва на основании максимальных уровней звука.

Классификация аэропортов по уровням шума является основанием для разработки карт шума и шумозащитных мероприятий.

4. Снижение шума воздушного транспорта

Методы, используемые для снижения шума авиационного транспорта, могут носить как административный, так и конструктивный характер [9]. К административным мероприятиям относятся: введение ограничений на эксплуатацию самолетов в ночное время, ограничения на взлеты и посадки воздушных судов, выделение маршрутов с минимальными уровнями шума, ограничение интенсивности полетов, смещение входной кромки ВПП, введение платы за отклонение от установленных трасс пролета воздушного судна, замена устаревших самолетов более новыми с пониженными уровнями шума.

К мероприятиям по снижению уровня шума в источнике относится повышение степени двухконтурности двигателя, за счет чего обеспечивается снижение уровня создаваемого им шума. Для снижения шума двигателя в задней полусфере выходное сопло двигателя обрабатывается при помощи шевронной обработки. При такой обработке в области максимума спектра снижение шума струи достигает величины 4-5 дБ как при отсутствии спутного потока, так и при его наличии.

Системы шумоглушения силовых установок современных самолетов основаны на применении в каналах мотогондол и двигателей звукопоглощающих конструкций с резонансными или объемными поглотителями, которые являются сегодня наиболее эффективным методом снижения интенсивности шума, генерируемого лопаточными

машинами турбореактивного двигателя. В практике снижения шума пассажирских самолетов широкое применение получили резонансные «сотовые» звукопоглощающие конструкции.

Для стоек шасси и кромок самолетных закрылок в Японии разработаны накладки, способные снизить образование турбулентного потока воздуха. Кроме этого, модификация закрылок служит уменьшению зазоров между их краями и крылом самолета. Накладки улучшают аэродинамику элеронов и способствуют уменьшению угла их выпуска. Результаты испытаний показали значительную эффективность подобной разработки в области снижения шума: аэродинамический шум был снижен на 3 дБА, а шум от шасси – на 4 дБА.

Процедуры, направленные на уменьшение шума при взлете и посадке, включают уменьшение тяги за счет частичного или полного закрытия закрылков на взлете или за счет дросселирования двигателей. В этих целях применяется прием взлета и резкого набора высоты при выдерживании сравнительно невысокой скорости полета и дросселировании тяги двигателей во время пролета самолетов над населенными пунктами, что позволяет обеспечить снижение шума от 2 до 6 дБА. При заходе на посадку по двухлучевой глиссаде уровни звука снижаются на величину примерно 2-3 дБА. При снижении самолета используется улучшение аэродинамического качества планера, приводящее к уменьшению режима работы двигателей и снижению шума на 8–14 дБА в зависимости от степени двухконтурности двигателя.

Для снижения уровней шума в жилой застройке применяется практика взлета вдоль незаселенных природных территорий, а также равномерное распределение нагрузки по всем направлениям полета.

Смещение входной кромки ВПП является еще одним эффективным мероприятием по снижению шума аэропорта. В аэропортах эту точку смещают таким образом, что реализуемая траектория снижения на посадку или взлета воздушного судна располагается выше земной поверхности. С увеличением этой высоты сокращается высота полета по глиссаде, а, следовательно, размеры шумового контура, создаваемого самолетом.

Эффективным мероприятием по снижению шума в ночное время является введение условий эксплуатации воздушных судов, что успешно применяется в международных аэропортах таких городов как Вашингтон, Женева и Лондон, где установлены ограничения на полеты в ночное время. Особенно эффективным является запрет функционирования в ночное время самолетов с уровнями шума, определенными в ходе летно-технических испытаний, более 95 дБ PN.

В качестве дополнительных мероприятий по снижению пролетного шума применяется увеличение звукоизоляции жилых домов и других нормируемых объектов, а также введение ограничений зон застройки вблизи аэропортов.

Обобщенная эффективность мероприятий по снижению шума авиатранспорта приведена в таблице 2.

Таблица 2

Эффективность мероприятий по снижению шума авиатранспорта

Меры и конструкции шумозащиты	Эффективность, дБА
Замена устаревших самолетов новыми с большей степенью двухконтурности	8-14
Применение шумозащитных мероприятий в источнике	3-5
Смещение кромки ВПП	1-3
Уменьшение тяги (применение режима пилотирования на малой скорости и дросселирование тяги)	2-6
Запрет использования реверса тяги	5
Использование малой мощности	5 дБА на каждое снижение в 2 раза
Удаление траекторий пролета от нормируемых объектов	7 дБА на удвоение расстояния
Снижение шума в домах (шумозащитное остекление)	до 37

В соответствии с классификацией аэропортов по уровням шума, приведенной в таблице 1, для аэропортов различных категорий могут быть рекомендованы следующие мероприятия:

- внеклассные – удаление траекторий пролета от жилой застройки, замена устаревших самолетов, снижение шума в источнике, шумозащитное остекление, ограничение операций в ночное время;

- I класс – удаление траекторий пролета, замена устаревших самолетов, снижение шума в источнике, шумозащитное остекление;

- II класс – удаление траекторий пролета, замена устаревших самолетов, снижение шума в источнике, ограничение операций в ночное время;

- III, IV классы – замена устаревших самолетов, снижение шума в источнике;

- V класс, неклассифицированные – уменьшение тяги, замена устаревших самолетов.

Таким образом, для всех российских аэропортов первоочередным мероприятием является использование новых современных самолетов с высокой степенью двухконтурности, в которых используются новейшие методы снижения шума. Эта тенденция в настоящее время все больше прослеживается, что подтверждается данными российского реестра воздушных судов, согласно которому в настоящее время на территории РФ в эксплуатации находится порядка 2000 устаревших воздушных судов, которые, в основном, используются для нужд военных, МЧС и в частной авиации.

Кроме того, пилоты воздушного судна должны соблюдать режим пилотирования, исключая использование реверса тяги, пилотирование на малой мощности и на малой скорости с использованием дросселирования тяги. Самолеты не должны отклоняться от установленной трассы пролета, которую необходимо выбирать в обход жилой застройки.

При проектировании аэропортов и новых ВПП следует выбирать трассы взлета вдоль территорий, на которых отсутствуют защищаемые объекты, а также соблюдать размеры рекомендованных санитарных разрывов, вынося за их пределы объекты с нормируемыми уровнями шума.

Заключение

Под влиянием шума аэропорта может находиться порядка трети городских территорий. При этом авиационный шум вызывает наибольшее раздражение у населения по сравнению с другими видами шума.

На уровень шума самолетов влияют тип самолета, обусловленный, в первую очередь, типом его двигателя, а также режим пилотирования (взлет, посадка, максимальная тяга). От типа самолета зависит большинство параметров эмиссии шума, таких как процедурные этапы (взлет, посадка и т.п.), траектория полета, боковая направленность звука, обусловленная местом установки двигателей и боковое затухание.

На практике шумовая характеристика потока воздушного транспорта не применяется, определяются шумовые характеристики отдельных воздушных судов, которые потом суммируются по каждому пути пролета. Затухание уровней шума оценивается в зависимости от расстояния.

На основании российской методики можно определить максимальные уровни звука воздушных судов, полученные эмпирическим путем для российских самолетов, и оценить расстояние, на котором обеспечиваются предельно допустимые уровни шума при пролете самолетов на данном режиме пилотирования.

С использованием нового подхода, рекомендованного ИКАО, разработана классификация аэропортов по эквивалентным уровням звука, основанная на параметрах аэропортов и определены расстояния, на которых достигаются допустимые уровни шума. Как показывают результаты измерений, выполненных для аэропорта Пулково, предложенный подход более точный, чем ранее принятая оценка зоны санитарного разрыва аэропорта.

На основании разработанной классификации предложены шумозащитные мероприятия для аэропортов разных классов, включающие удаление траекторий пролета от жилой застройки, замену устаревших самолетов, снижение шума в источнике, шумозащитное остекление, ограничение операций в ночное время.

Список литературы

1. А.И. Запорожец, О.А. Картышев. Социальные и санитарно-гигиенические аспекты шума окружающей среды и их значимость для экологического нормирования. Научный вестник МГТУ ГА, 2010, № 160, с. 132-140.
2. О.А. Картышев. Работы по установлению границ зон ограничения жилой застройки вблизи аэропортов по неблагоприятному фактору «авиационный шум». Научный вестник МГТУ ГА, 2010, № 160, с. 141-147.
3. Руководство по проектированию аэропортов. Использование земельных участков и контроль над окружающей средой. – Монреаль: ИКАО, Дос. 9184-AN/902/2. – изд.3-е. – 2005. – Ч.2.
4. Авиационная акустика [текст] /под ред. А.Г. Мунина. –М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1.
5. СП 51.13330.2011 Защита от шума (Актуализированная версия СНиП 23-03-2003).
6. Руководство по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов. Дос. 9911, Международная организация гражданской авиации, 2008.– 131 с.
7. Рекомендации по установлению зон ограничения жилой застройки в окрестностях аэропортов гражданской авиации из условий шума, НИИ СФ, ГосНИИ ГА, МНИИ гигиены, 1987.

8. О.А. Картышев. Расчетно-экспериментальный метод построения контуров авиационного шума при осуществлении зонирования окрестности аэропортов. Научный вестник МГТУ ГА, 2012, № 175, с. 30-35.

9. Н.И. Иванов. Защита от шума и вибрации / Н. И. Иванов. – СПб: НИЦ АРТ, 2017. – 267 с.

10. Шашурин А.Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, СПб: 2018.

References

1. A.I. Zaporozhets, O.A. Kartyshev. Sotsial'nyye i sanitarno-gigiyenicheskiye aspekty shuma okruzhayushchey sredy i ikh znachimost' dlya ekologicheskogo normirovaniya. Nauchnyy vestnik MGTU GA, 2010, № 160, p. 132-140.

2. O.A. Kartyshev. Raboty po ustanovleniyu granits zon ogranicheniya zhiloy zastroyki vblizi aeroportov po neblagopriyatnomu faktoru «aviatsionnyy shum». Nauchnyy vestnik MGTU GA, 2010, № 160, p. 141-147.

3. Airport Planning Manual Part 2 Land Use and Environmental Control. Doc. 9184-AN/902/2. – Third edition. – 2005. – Part 2.

4. Aviatsionnaya akustika /pod red. A.G. Munina.– M.: Mashinostroyeniye,1986.–T.1.

5. SP 51.13330.2011 Sound Protection.

6. ICAO Doc 9911, “Recommended Method for Computing Noise Contours around Airports”, First edition, 2008 – 131 p.

7. Rekomendatsii po ustanovleniyu zon ogranicheniya zhiloy zastroyki v okrestnostyakh aeroportov grazhdanskoy aviatsii iz usloviy shuma, NII SF, GosNII GA, MNII gigiyeny, 1987.

8. О.А. Картышев. Расчетно-экспериментальный метод построения контуров авиационного шума при осуществлении зонирования окрестности аэропортов. Научный вестник МГТУ ГА, 2012, № 175, с. 30-35.

9. N.I. Ivanov. Zashchita ot shuma i vibratsii / N. I. Ivanov. – SPb: NITS ART, 2017. – 267 p.

10. Shashurin A.Ye. Nauchnoye obosnovaniye i primeneniye novykh tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh resheniy dlya snizheniya akusticheskogo zagryazneniya osnovnymi tipami shumozashchitnykh ekranov / Dissertation for the degree of doctor of technical Sciences, SPb: 2018.

УДК: 534.6; 331.45; 613

OECD: 01.03.AA; 10.63.49; 76.01.93

Эффективность мероприятий по снижению шума расточного и осетокарных станков

Шашурин А.Е.¹, Лубянченко А.А.², Гогугдзе М.Г.^{3*}

¹ Д.т.н., профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

² К.т.н., старший преподаватель кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

^{1,2} Балтийский государственный технический университет

«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

³ Аспирант, Ростовский государственный университет путей и сообщений,
г. Ростов-на-Дону, РФ

Аннотация

Повышенные уровни шума на рабочих местах металлообрабатывающих предприятий один из преобладающих вредных факторов. Анализ компоновок станков показывает, что методом вибропоглощения не всегда даёт высокий результат и не снижает уровни шума до нормативных значений. Для снижения шума все чаще используются различные ограждения и экраны. В статье подробно описаны методы расчета таких конструкций с учетом параметров помещения, с учетом геометрических размеров конструкций. Выполнение расчетов по полученным формулам позволяет значительно уточнить расчет уровней звукового давления от источников и соответственно, систем снижения шума. Разработка мероприятий по шумозащите с предложенной методикой позволит снизить уровни шума в цехах металлообрабатывающих предприятий до нормативных значений.

Ключевые слова: шум, снижение шума, расточный станок, осетокарный станок, металлообрабатывающий станок, шумозащита.

Noise mitigation measures efficiency for boring and axle lathe machines

Shashurin A.E.¹, Lubianchenko A.A.², Gogugдзе M.G.^{3*}

¹ DSc, professor of department 'Ecology and life safety'

² Phd, senior lecturer of department 'Ecology and life safety'

^{1,2} Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinova, St.Petersburg, Russia

³ Postgraduate student, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

Excessive noise in the workplaces of the metalworking enterprises is one of the prevailing harmful factors. Analysis of the machine layouts shows that the vibration absorption method does not always give a high result and does not reduce noise levels to standard values. Various barriers and screens are increasingly used to reduce noise. The article describes in detail the methods for calculating such structures, taking into account the parameters of the premises and geometric dimensions of the structures. Performing calculations based on the obtained formulas provides significantly more accurate calculations of sound pressure levels from sources and, accordingly, noise reduction systems. Developing noise mitigation measures using the proposed method will reduce the noise levels in the workshops of metalworking enterprises to standard values.

Keywords: noise, noise reduction, boring machine, axle lathe, metalworking machine, noise protection.

*E-mail: maratlex@mail.ru (Гогугдзе М.Г.)

Введение

Анализ компоновок металлообрабатывающих станков и характерных особенностей технологических процессов растачивания отверстий [1] и точения двух посадочных поверхностей осей колесных пар показывает, что снижение шума режущего инструмента и осей методом вибропоглощения не всегда целесообразно.

Выполнение санитарных норм по уровню шума на рабочих местах операторов технологичнее и проще достичь пассивными методами, такими как локальные ограничения и шумозащитные экраны. Акустическая эффективность системы снижения шума представляет собой разницу между фактическими октавными уровнями звукового давления на рабочих местах операторов и предельно-допустимыми значениями.

1. Требуемая эффективность снижения шума станочного оборудования

В данной статье предполагается, что системы шумозащиты должны обеспечивать санитарные нормы на рабочих местах операторов не только одного отдельного станка, но и в условиях работы участков, то есть нескольких одновременно работающих станков. Были проведены замеры уровней шума как от отдельных станков, так и в цехе в целом. Значения необходимой для выполнения санитарных норм шума акустической эффективности для рассмотренных в работе станков приведены в таблице 1. Верхние цифры соответствуют рабочему месту для одного станка, нижние – условия производственного участка с группой станков.

Таблица 1
Акустическая эффективность систем шумозащиты

Тип станка	Требуемая величина снижения шума (дБ) в октавных полосах частот (Гц)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Расточной	-	-	-	5	13	8	7	6
	-	-	-	9	16	12	11	10
Гидрокопировальный	-	-	4	11	10	7	-	-
	-	-	7	14	14	10	-	-
Модернизированный	-	-	-	8	8	5	-	-
	-	-	-	11	11	9	-	-
С прямоугольными резцовыми головками	-	-	5	12	15	7	5	2
	-	-	8	16	18	10	8	5
С круглыми резцовыми головками	-	-	8	13	17	10	7	4
	-	-	11	16	20	14	11	8

Согласно компоновкам источников шума и требуемым значениям снижения уровней звукового давления разработаны и предложены следующие мероприятия:

- для *гидрокопировального станка* – установка системы звукопоглощения на вертикальную панель и акустического экрана на станину, закрывающего зону резания;
- для *модернизированного станка* – установка двух акустических экранов зоны резания на переднем и заднем участках станины;
- для *станков с резцовыми головками* – увеличение звукоизоляции и вибропоглощения серийных ограждений зоны резания;
- для *специального расточного станка* – установка быстросъемных вибропоглощающих покрытий на растачиваемом корпусе, установка ограждения с высокой степенью

герметизации между ближним к рабочему месту торцом корпуса и приводами движения.

2. Акустический расчет системы снижения шума

При расчете октавных уровней звукового давления на рабочих местах операторов следует учитывать параметры производственного помещения и системы шумозащиты. Используя данные работ [2, 3], зависимость уровней звукового давления на рабочих местах приведены к следующему виду:

- при наличии акустических экранов в помещении:

$$L = L_p + 10 \lg \left(\frac{X_{\Pi}}{4\pi r^2} + \frac{4\varphi_{\Pi}}{B_{\Pi}} \right) + 10 \lg K - AЭ; \quad (1)$$

- с системой шумозащиты в производственном помещении:

$$L = L_p + 10 \lg \left(\frac{X_{\Pi}}{4\pi r^2} + \frac{4\varphi_{\Pi}}{B_{\Pi}} \right) - ЗИ + 10 \lg \frac{S_c}{X_c} + 10 \lg \left(\frac{X_{\Pi}}{S_c^1} + \frac{4\varphi_c}{B_c} \right) + 10 \lg K, \quad (2)$$

где L_p - уровни звуковой мощности, совокупности источников шума, дБ;

r - расстояние от источника шума до расчетной точки, м;

B_{Π} - постоянная производственного помещения, м²;

X_{Π} , φ_{Π} и X_c , φ_c - коэффициенты искажения поля и диффузности (соответственно) производственного помещения (индекс «п») и системы шумоизоляции (индекс «с»);

$AЭ$ - акустическая эффективность экрана, дБ;

$ЗИ$ - звукоизоляция ограждения, дБ;

B_c - постоянная объема системы шумоизоляции, м²;

S_c - площадь системы шумоизоляции, м²;

S_c^1 - площадь системы шумоизоляции у источника шума, м²;

K - количество станков, шт.

Используя известные зависимости, связывающие звуковое давление и звуковую мощность, а также соотношения размеров источников, расстояние до расчетной точки и их компоновку, зависимость принимает вид:

- при наличии акустических экранов, зоны резания гидрокопировального и модернизированного станков:

$$L = 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + 12 + \\ + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg K - ЗИ + 18, \quad (3)$$

где a, b, c - длина, ширина и толщина резца, м;

k - количество станков;

ν_{kp} - скорость колебания резцов, мк;

ν_{k0} - скорость колебания оси, мк;

α_{Π} и S_{Π}^1 - коэффициент звукопоглощения и площадь внутренней поверхности производственного помещения (м²);

d_0 - диаметр оси, м;

$AЭ$ - то же, что и в формуле (1);

n - кол-во резцов, шт.;

l_0 - длина оси, м;

r - расстояние до резца, м.

- при наличии ограждения зоны резания осетокарных станков с резцовыми головками прямоугольного сечения:

$$L = 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + \\ + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}} \right] + 10 \lg \frac{0,8\alpha_c + 1}{\alpha_c} + 10 \lg K - \text{ЗИ} + 18, \quad (4)$$

где α_c - коэффициент звукопоглощения ограждения;

S_{Π}^1 площадь зоны ограждения, м²;

$a, b, c, n, d_0, k, l_0, r, \alpha_{\Pi}, \nu_{kp}, \nu_{k0}, K$ то же, что в формуле (3);

ЗИ то же, что и в формуле (2).

При наличии ограждения зоны резания осетокарных станков с круглыми резцовыми головками:

$$L = 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg \pi d_r (d_r + l_r) + 2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + \\ + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18 - \text{ЗИ}, \quad (5)$$

где d_r - диаметр резцовой головки, м;

l_r - толщина резцовой головки, м;

d_c - диаметр ограждения, м;

$\nu_{kp}, n, d_0, l_0, \nu_{k0}, r, \alpha_{\Pi}, S_{\Pi}^1, K, \text{ЗИ}$ то же, что и в формуле (4).

- при наличии ограждения зоны резания специального расточного станка с ограждением, установленным между корпусом и приводом борштанг:

$$L = 10 \lg \left[2 \cdot 10^{\lg \pi d_1 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k1}} + 10^{\lg \pi d_2 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k2}} + 10^{\lg \pi d_{\text{отв1}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв1}}} + \right. \\ \left. + 10^{\lg \pi d_{\text{отв2}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв2}}} \right] + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + \\ + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18 - \text{ЗИ}, \quad (6)$$

где d_1, d_2 - диаметры борштанг, м;

l_1 - длина борштанги между торцом корпуса и приводом, м;

$d_{\text{отв1}}, d_{\text{отв2}}$, диаметры растачиваемых отверстий, м;

ν_{k1} - скорость колебания борштанги 1, м/с;

ν_{k2} - скорость колебания борштанги 2, м/с;

$\nu_{\text{котв1}}$ - скорость колебания отверстия 1, м/с;

$\nu_{\text{котв2}}$ - скорость колебания отверстия 2, м/с;

$d_c, K, \text{ЗИ}, r, \alpha_{\Pi}, S_{\Pi}^1$ то же, что и в формуле (5).

Для расчета требуемых значений акустической эффективности экрана и ограждений в левую часть выражений (5) и (6) подставляются предельно-допустимые октавные уровни звукового давления, тогда:

$$A\mathcal{E}_{\text{треб}} = L + 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + 12 + \\ + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg K - L_c, \quad (7)$$

где $A\mathcal{E}_{\text{треб}}$ - требуемая эффективность экрана, дБ.

Для осетокарных станков с резцами прямоугольного сечения:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = L - 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg(ab+bc+ac)+2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + \\ + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\text{ЗИ}_{\text{треб}}$ - требуемая звукоизоляция экрана, дБ.

Для ограничения осетокарных станков с круглыми резцовыми головками:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = L - 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg \pi d_r (d_r + l_r) + 2 \cdot \lg \nu_{kp}} + 10^{\lg nd_0 l_0 + 2 \cdot \lg \nu_{k0}}] + \\ + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18, \end{aligned} \quad (9)$$

Для ограждения специального расточного станка:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = L - 10 \lg [2 \cdot 10^{\lg \pi d_1 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k1}} + 10^{\lg \pi d_2 l_1 + 2 \cdot \lg \nu_{k2}} + 10^{\lg \pi d_{\text{отв1}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв1}}} + \\ + 10^{\lg \pi d_{\text{отв2}}^2 + 2 \cdot \lg \nu_{\text{котв2}}}] + 10 \lg \left[\frac{0,32}{r^2} + \frac{16(1 - \alpha_{\Pi})}{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}^1} \right] + 10 \lg \frac{0,8d_c + 1}{d_c} + 10 \lg K + 18, \end{aligned} \quad (10)$$

Практически наиболее просто и эффективно обеспечить требуемую звукоизоляцию ограждения следует подбором толщины элементов ограждения. При нормальном падении звука звукоизоляция определяется как:

$$\text{ЗИ}_{\text{треб}} = \lg [1 + 5,7 \cdot 10^{-5}(\rho h f)], \quad (11)$$

где ρ - плотность материала ограждения, кг/м³;

h - толщина, м;

f - частота, Гц.

Тогда, с учетом того, что превышения уровней звукового давления начинаются с четвертой, а чаще с пятой октавы, толщина ограждения определяется по формуле:

$$h_{\text{треб}} = 10^{0,534+2,6}(\rho f)^{-1}, \quad (12)$$

где ρ, f то же, что и в формуле (12),

$h_{\text{треб}}$ - требуемая толщина конструкции, м.

Данная зависимость позволяет определить материал и толщину, когда ограждение выполнено из единого материала. При наличии в ограждении смотровых окон, что характерно для осетокарных станков с резцовыми головками следует использовать зависимость приведенной звукоизоляции [3]. Применительно к рассматриваемым станкам зависимость звукоизоляции определяется как:

$$\begin{aligned} \text{ЗИ}_{\text{треб}} = \text{ЗИ}_{\text{осн}} - \Delta \text{ЗИ} = \text{ЗИ}_{\text{осн}} - 10 \lg [S_{\text{осн}}^1 + S^1 \cdot 10^{0,1(\text{ЗИ}_{\text{ист}} - \text{ЗИ})}] + \\ + 10 \lg (S_{\text{осн}}^1 + S^1), \end{aligned} \quad (13)$$

где $S_{\text{осн}}^1$ и $\text{ЗИ}_{\text{осн}}$ - площадь (м) и звукоизоляция (дБ) остекления;

$\text{ЗИ}_{\text{треб}}$ то же, что и в формуле (8), ЗИ то же, что и в формуле (2);

$\Delta \text{ЗИ}$ - приведенная звукоизоляция, дБ;

S^1 - площадь конструкции системы шумозащиты, м²;

$\text{ЗИ}_{\text{ист}}$ - звукоизоляция рассматриваемого источника, дБ.

Заключение

Таким образом, расчет и проектирование систем снижения шума практически зависит от точности расчетов конструкций и расчета скоростей колебаний источников шума. Такие расчеты применительно к геометрическим размерам и способам закрепления обрабатываемых изделий и режущего инструмента могут быть выполнены по алгоритмам и программному обеспечению работы [4]. Однако отличие полученных зависимостей заключается в учете диссипативной функции, задаваемой коэффициентом потерь колебательной энергии отдельных заготовок различной конфигурации [5], с учетом всей технологической системы. Выполнение расчетов по полученным формулам позволяет значительно уточнить расчет уровней звукового давления от источников и соответственно, систем снижения шума. Разработка мероприятий по шумозащите с предложенной методикой позволит снизить уровни шума в цехах металлообрабатывающих предприятий до нормативных значений.

Список литературы

1. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction, A. Shashurin M. Goguadze A. Chukarin, AKUSTIKA, Volume 34, 2019, с. 104-107 ISSN 1801-9064.
2. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики. – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.
3. Борисов Л.П., Гужас Д.Р. Звукоизоляция в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 250 с.
4. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки // Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 152 с.
5. Подуст С.Ф. Основы виброакустических расчетов отечественных электровозов: монография / С.Ф. Подуст, А.Н. Чукарин, И.В. Богуславский. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2014. – 157 с.

References

1. Analysis of the experimental study of the axle lathe machine vibroacoustic characteristics for workplace noise reduction, A. Shashurin M. Goguadze A. Chukarin, AKUSTIKA, Volume 34, 2019, с. 104-107 ISSN 1801-9064.
2. Ivanov N.I., Nikiforov A.S. Osnovy vibroakustiki. – SPb.: Politekhnik, 2000. – 482 p.
3. Borisov L.P., Guzhas D.R. Zvukoizolyaciya v mashinostroenii. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 250 p.
4. CHukarin A.N. Teoriya i metody akusticheskikh raschetov i proektirovaniya tekhnologicheskikh mashin dlya mekhanicheskoy obrabotki // Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2004. – 152 p.
5. Podust S.F. Osnovy vibroakusticheskikh raschetov otechestvennyh elektrovozov: monografiya / S.F. Podust, A.N. CHukarin, I.V. Boguslavskij. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2014. – 157 p.

УДК: 625.098
OECD: 01.03.AA

Влияние на уровень транспортного шума и выбросов мероприятий по повышению эффективности наземного транспорта в г. Московский

Лебедев О.А.^{1*}, Элькин Ю.И.²

¹ Магистрант

² Профессор, д.т.н.

^{1,2} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, РФ

Аннотация

В данной статье отмечено, что автомобильный транспорт является источником значительного загрязнения окружающей среды шумом и выбросами. Представлены результаты исследования шумового загрязнения от автотранспорта улично-дорожной сети и от временной стройплощадки в г. Московский. Отмечено, что измеренные уровни шума на исследуемом объекте (1-й микрорайон г. Московский) превышают предельно-допустимые. Предложены меры по шумозащите для достижения санитарных норм в жилой застройке. Также предложены мероприятия и приведены результаты расчетов по снижению валовых выбросов загрязняющих веществ от непассажирского автотранспорта в указанном городе.

Ключевые слова: уровень звука, уровни звукового давления, транспортный шум, шумозащитные экраны, ветровая нагрузка на шумозащитные экраны, снижение выбросов от автомобилей.

Impact on the levels of traffic noise and emissions of measures to improve the efficiency of land transport in Moscovski town

Lebedev O.A.^{1*}, Elkin Y.I.²

¹ Undergraduate

² Professor, DSc

^{1,2} Moscow Automobile and Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

Abstract

This article notes that road transport is a source of significant environmental pollution by noise and emissions. The results of the study of noise pollution from vehicles of the road network and from a temporary construction site in Moscovski town were presented. It was noted that the measured noise levels at the studied object (1st microdistrict of Moscow) exceed the maximum permissible levels. Noise protection measures were proposed to achieve sanitary standards. Measures are also proposed and the results of calculations to reduce gross emissions of non-passenger vehicles in the specified city are presented.

Keywords: sound level, sound pressure levels, traffic noise, noise screens, wind load on acoustic screens, car emission reduction.

Введение

Для текущего времени характерна тенденция к росту плотности городской застройки, а также к сокращению свободных объемов в зданиях, вследствие чего сокращаются пути распространения шума, ухудшается акустическая ситуация. Также рост плотности жилой застройки приводит к большей потребности жителей поставить на стоянку свой личный (как легковой, так и грузовой, то есть непассажирский) транспорт у дома, во дворе, но места чаще всего не хватает, а застройщик не хочет тратить лишние деньги и изначально строить подземный паркинг. Вследствие этого, жителям приходится парковаться далеко от подъезда, в соседнем дворе или с нарушением правил дорожного движения. В связи с этим, бывают ситуации, когда приходится ездить вокруг дома в надежде на свободное место, что в свою очередь, приводит к увеличению как валовых выбросов от автомобилей, так и уровней шума, воздействующих на жилую застройку.

1. Объект исследования

Объектом исследования является относительно новый район под названием город-парк «Первый Московский», расположенный в городе Московский, в 12 км от МКАД по Киевскому шоссе. На выбранном объекте имеются все вышеуказанные проблемы, в связи с этим повышение эффективности использования непассажирского транспорта в г. Московский является актуальной задачей.

Основным и постоянным источником шума (ИШ) в городе является улично-дорожная сеть (УДС) со своими автотранспортными потоками. Временным источником шума является стройплощадка, расположенная на пересечении ул. Атласова и ул. Никитина. На данной стройплощадке осуществляется строительство четырехэтажного здания будущего торгового центра. Для оценки как шумовой экспозиции в жилой застройке, так и величины рисков для здоровья населения, проживающего в ней, были проведены замеры шумовых характеристик транспортных потоков (ШХТП), уровней звука (УЗ) и уровней звукового давления (УЗД) в соответствующих точках. Замеры ШХТП производились на расстоянии 7,5 метров от оси ближайшей полосы движения на высоте 1,5 метра над уровнем проезжей части [1].

Выбор точек для акустических измерений и дальнейших расчетов определяется расположением мест постоянного проживания населения, зон отдыха, внутридомовых территорий, детских учреждений, а также местами с заданным сценарием оценки риска.

2. Результаты исследования

Всего согласно ГОСТ 23337-2014 было выбрано 11 точек для замеров уровней шума [2]. Замеры уровня звука производились в дневное (07:00-23:00, L_{day}) и ночное (23:00-07:00, L_{night}) время с помощью шумомера Октава-110. В данной статье, в качестве примера, представлены результаты измерений в двух основных точках, а именно: УЗ от транспортного потока по Киевскому шоссе (постоянный ИШ1) в 2 метрах от фасада у ближайшего к шоссе жилого здания (точка №1) составил 60,4 и 58,0 дБА в дневное и ночное времена соответственно; шум от стройплощадки (временный ИШ2) в 2 метрах от фасада жилого здания, расположенного по адресу ул. Никитина, 4 (точка №2) – составил 61,0 и 57,2 дБА. Взаимное расположение выбранных точек представлено на рисунке 1. Измеренные УЗД (день) в октавных полосах частот для точек №1 и №2 приведены на рисунке 2.

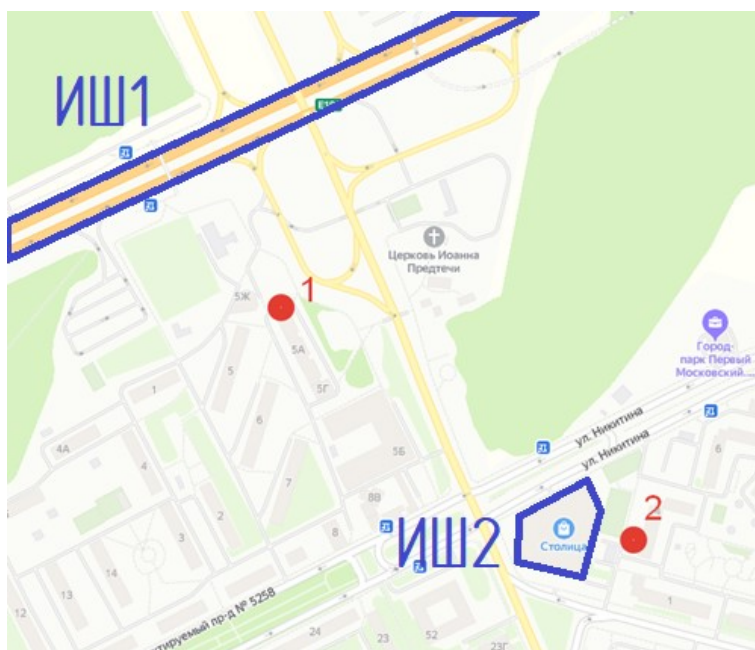


Рис. 1. Взаимное расположение точек замеров уровней шума в г. Московский

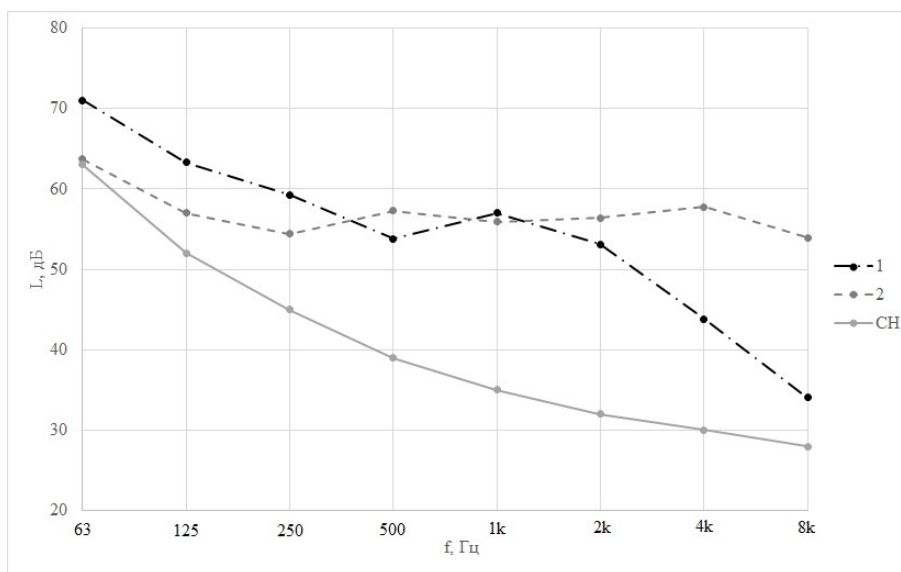


Рис. 2. Спектры шума: 1 – точка №1, 2 – точка №2, СН – норматив шума по СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96

Из графика видно, что УЗД на территории жилой застройки превышают предельно-допустимые уровни (ПДУ) в интервале частот 63 – 8000 Гц на 6-22 дБ для точки №1 и на 0,7-28 дБ для точки №2 согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [3]. При этом, уровни звука превышают ПДУ на 6 – 14 дБА.

Для снижения уровня шума в указанных точках нами предложено воспользоваться одним из самых популярных и наиболее известных способов защиты от шума, в том числе и транспортного – установкой шумозащитных экранов (ШЭ).

Для определения параметров как постоянного шумозащитного экрана (защита от транспортного шума, Киевское шоссе на въезде в г. Московский), так и временного экрана (защита от шума стройплощадки) была использована методика, представленная

в ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» [1]. При этом, снижение уровня звука экраном ($\Delta L_{A_{\text{экp}}}$, дБА) определяется по формуле:

$$\Delta L_{A_{\text{экp}}} = 18,2 + 7,8 \log(\delta + 0,02), \quad (1)$$

где δ разность хода дифрагированного и прямого звуковых лучей, м.

Были рассчитаны акустическая эффективность экранов различной высоты, а именно: для постоянных ШЭ – 2, 4 и 6 метров (результаты расчетов представлены в табл.1), для временных ШЭ – 1, 2 и 4 метра (результаты расчетов представлены в табл.2).

Таблица 1

Результаты расчетов постоянного шумозащитного экрана

Высота экрана $h_{\text{экp}}$, м	2	4	6
a	32,00	32,02	32,39
b	145,00	145,03	145,09
c	177,00	177,00	177,00
δ	0,001	0,02	0,47
$\Delta L_{A_{\text{экp}}}$, дБА	7,2	12,6	15,8

Таблица 2

Результаты расчета временного шумозащитного экрана

Высота экрана $h_{\text{экp}}$, м	1	2	4
a	50,00	50,01	50,09
b	40,00	40,01	40,11
c	90,00	90,00	90,00
δ	0	0,02	0,20
$\Delta L_{A_{\text{экp}}}$, дБА	5,0	7,5	13,1

В ОДМ 218.2.013-2011 рекомендовано длину шумозащитных экранов $L_{\text{шэ}}$, м, определять из условия обеспечения расстояния от проекции крайних точек объекта защиты (соответственно $PT_{\text{лев.}}$, $PT_{\text{прав.}}$) на ШЭ до соответствующего конца последнего не менее, чем в 4 раза больше кратчайшего расстояния от объекта защиты до ШЭ ($D_{\text{лев.}}$, $D_{\text{прав.}}$, м). При определении длины экрана необходимо также учитывать и длину участка между $PT_{\text{лев.}}$ и $PT_{\text{прав.}}$ (L , м) по линии, параллельной ШЭ (рисунок 3) [1]:

$$L_{\text{шэ}} = 4D_{\text{лев.}} + L + 4D_{\text{прав.}} \quad (2)$$

В стандарте отмечено, что это соотношение получено из условий возможности пренебрежения дифракцией звука на боковых ребрах ШЭ.

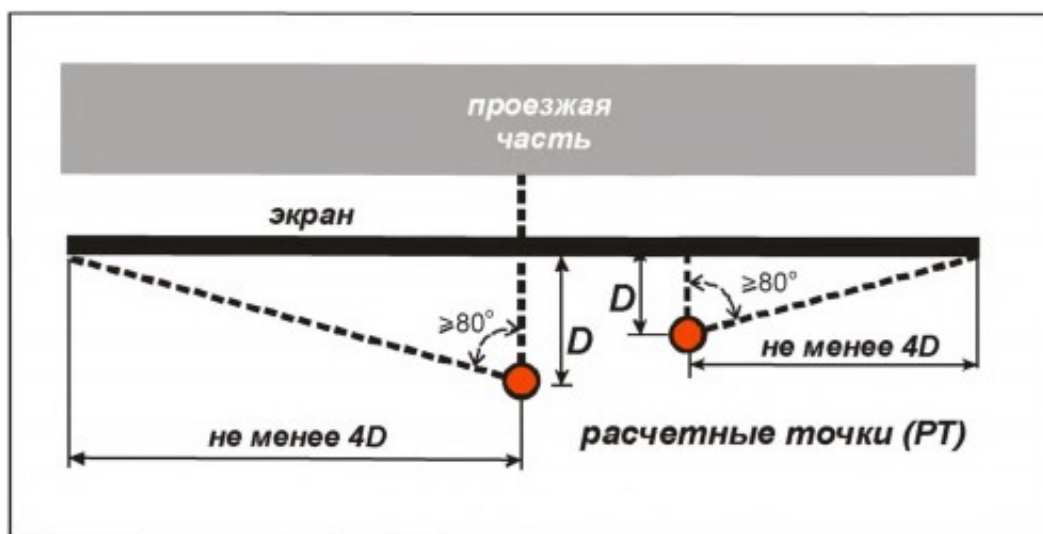


Рис. 3. Схема определения требуемой длины ШЭ

Так как для точки №1 мы экранируем одно здание с придомовой территорией, то $D_{\text{лев.}} = D_{\text{прав.}} = 145$ м; $L = 121$ м и, следовательно, длина экрана $L_{\text{ШЭ}} = 1281$ м. Окончательные результаты расчетов параметров, предлагаемых ШЭ (с учетом всех поправок согласно указанной методике [1]), приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета временного шумозащитного экрана

Назначение экрана	Высота, м	Длина экрана, м	Акустическая эффективность, $(\Delta L_{A_{\text{экp}}}, \text{дБА})$	Вид
Постоянный	6	1281	15,8	Отражающе-поглощающий
Временный	4	110	13,1	Отражающий

В результате проведения предложенных шумозащитных мероприятий (ИШ1, постоянный ШЭ) эквивалентный уровень звука от транспортного шума в жилой застройке снизится до $64,0 - 15,8 = 48,2$ дБА – для дневного уровня шума и до $58,0 - 15,8 = 42,2$ дБА для ночного, что позволит не превысить санитарные нормы в 55 и 45 дБА для дневного и ночного времени [3] соответственно.

При установке временного экрана высотой 4 м (ИШ2, шум стройплощадки) также удастся снизить уровень звука на 13,1 дБА и обеспечить нормативные значения по шуму в жилой застройке.

Расчет шумозащитных экранов на ветровую нагрузку

Так как предложенный нами постоянный шумозащитный экран вдоль Киевского шоссе имеет достаточно большую высоту (6 м), то следует провести расчет его устойчивости на ветровую нагрузку по методике [4, 5]:

$$\omega_m = \omega_0 \cdot k_{(z_e)} \cdot c. \quad (3)$$

Москва относится к 1 типу ветрового района, следовательно, характеристическое значение ветрового давления $\omega_0 = 0,23$ кПа.

При этом аэродинамический коэффициент c для шумозащитных экранов, то есть плоских сплошных конструкций, стоящих на земле, принимается равным 1,2.

Коэффициент $k_{(z_e)}$, учитывающий изменение ветрового давления для городских территорий, лесных массивов и других местностей, покрытых равномерно препятствием высотой более 10 м, принимается равным 0,65 (для экранов высотой > 5 м).

Расчетные значения по [4, 5] средней составляющей ветровой нагрузки (ω_m , кПа) представлены в таблице 4.

Таблица 4

Расчетные значения ветровой нагрузки

Назначение экрана	Протяженность, м	Высота, м м	Площадь, м ²	ω_0 , кПа	$k_{(z_e)}$	c	ω_m , кПа
Постоянный	1281	6	7686	0,23	0,65	1,2	0,18

Из представленных в табл. 4 расчётных данных видно, что для обеспечения «ветровой» устойчивости предлагаемого ШЭ требуется достаточно прочный фундамент (например, ленточный), при этом для крепления несущих стоек к фундаменту необходимо использовать как минимум 6 анкерных болтов на каждую стойку.

Расчет дополнительных валовых выбросов от непассажирских автомобилей по причине поиска парковки

В мировой практике разработано достаточно большое число транспортных моделей для разных видов транспорта. В рамках данной работы, в первую очередь, представляют интерес модели для моторизованного транспорта.

Метод COPERT-5 (Computer programs to calculate emission from road transport) учитывает эмиссию в различных режимах двигателей, вождения и скорости, а также состояние дорожной инфраструктуры и техническое состояние транспортного средства. Программа COPERT-5 позволяет рассчитывать эмиссии от автотранспортных средств (АТС) по многим параметрам и различным режимам вождения автомобилей [6]. Этот метод имеет возможность оценивать эмиссии двигателей внутреннего сгорания (бензиновые, дизельные и двигатели, работающие на сжатом природном газе) как основных парниковых газов (CO_2 , N_2O и CH_4), так и газов-предшественников (CO , NO_x , неметановых углеводородов NMVOC). Эмиссии от автомобилей рассчитываются по следующим параметрам: среднегодовой пробег, средняя скорость, скорость движения автомобилей на городских, сельских и главных дорогах, типы транспортных средств, объем двигателя, тип топлива. Для расчета эмиссии согласно методологии в программу включаются следующие данные: количество автомобильных средств для каждой из категорий стандарта Евро с разделением по используемому топливу, годовая температура окружающей среды, годовое атмосферное давление, годовые данные по влажности. В программе COPERT-5 применяются коэффициенты, разработанные согласно техническому положению и году выпуска автомобилей.

В соответствии с требованиями расчетной методики (Copert-5) необходимо, помимо разделения автомобилей по экологическим стандартам ЕВРО и по виду потребляемого топлива (бензин, дизель, природный газ), оценить среднегодовой пробег для каждой группы транспортных средств. Для легковых автомобилей необходимо дополнительно разделение по объему рабочего двигателя, для грузовых автомобилей - по грузоподъемности, а для автобусов - по вместимости.

Данные о структуре автопарка были взяты исходя из интенсивности в один из рабочих дней, замеренной во время исследования. Так как проблему лишних выбросов во время поиска парковки создают только легковые автомобили, из итогового расчета были исключены грузовой транспорт и автобусы. Подсчет интенсивности производился на перекрестке, находящимся на въезде в город. Перекресток предполагает два пути движения – прямо (ул. Атласова) и направо (1-й микрорайон). После поворота направо 80% автомобилей идет на разворот для дальнейшего проезда в исследуемый нами район.

В расчетах по умолчанию все легковые автомобили будут указываться с объемом рабочего двигателя 1,4-2,0 литра, так как данный объем является наиболее популярным при покупке нового автомобиля.

Данные по движению – величины среднегодового пробега, средняя скорость и доля пробегов по режимам движения для различных типов разновозрастных АТС и различных типов участков УДС взяты по результатам исследований как собственных, так и выполненных в МАДИ, а также по данным ГИБДД и Росстата.

Среднегодовой пробег по выбранному району был выбран исходя из результатов собственных измерений, а именно: при автопарке в 2500 легковых автомобилей в районе 80% из них уезжает на работу каждый будний день и 50% уезжает в выходные, возвращаясь обратно в тот же день. Средняя длина круга для поиска парковочного места ориентировочно равна 2,5 километра. Каждый автомобиль в среднем делает 2 круга, таким образом среднегодовой пробег каждого автомобиля по указанному району достигает 1875 км в год.

Расчет выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) проводился по методике COPERT 5. Инструментом оценки эффекта по снижению выбросов будет являться процентное соотношение эффекта «до» (базовый сценарий) и «после» (перспективный сценарий). Эффектом «до» будет являться количество выбросов ЗВ при текущей ситуации, то есть когда большинство водителей ищет место для парковки. Эффектом «после» будем считать выбросы ЗВ после внедрения мероприятий по расширению парковок – строительство многоуровневой парковки и размещение парковочных мест вдоль ул. Никитина. После внедрения указанных мероприятий пробег внутри дворов уменьшится в 3 раза, а суммарный пробег - в 2 раза. Результаты расчета валовых годовых выбросов ЗВ для обоих сценариев представлены в таблице 5.

Таблица 5

Количество выбросов ЗВ от АТС для различных сценариев

Выбросы, тонн в год	Базовый сценарий	Перспективный сценарий (расширение парковок)	Снижение, %
CO ₂	1023,000	353,830	65,413
NO _x	0,198	0,084	57,374
PM (2,5)	0,062	0,024	61,699
PM (10)	0,112	0,043	61,607

Как видно из приведенных данных, количество валовых выбросов ЗВ от АТС снизится: по CO₂ - на 65,4%, по NO_x - на 57,4%, по взвешенным частицам диаметром 2,5 и 10 мкм – на 61,7% и на 61,6% соответственно.

К сожалению, в настоящее время нам неизвестны какие-либо методики, позволяющие оценить влияние шумозащитных экранов на рассеивание выбросов загрязняющих веществ в атмосфере от автомобильного транспорта. Однако, можно с уверенностью предположить, что при установке ШЭ снизится, по крайней мере,

приземная концентрация ЗВ в жилой застройке.

Заключение

В данной статье было рассмотрено техническое решение по установке ШЭ высотой 6 м и длиной 1168 м вдоль Киевского шоссе на въезде в г. Московский, что позволит снизить уровень шума на 15,8 дБА и достигнуть требуемых нормативных уровней звука в 55 и 45 дБА для дневного и ночного времени в жилой застройке соответственно [3].

Также был выполнен расчет временных экранов (высота - 4м, $\Delta L_{A_{экp}} = 13,1$ дБА) вокруг стройплощадки (пересечение ул. Атласова и ул. Никитина) для достижения тех же нормативов в жилой застройке.

При этом, благодаря расширению парковок в исследуемом районе, удастся достигнуть снижения годовых валовых выбросов от непассажирских АТС (за счет уменьшения дополнительных пробегов АТС) на следующие величины: CO₂ - на 65,4%, NO_x - на 57,4%, взвешенные частицы диаметром 2,5 и 10 мкм - на 61,7% и на 61,6% соответственно.

Список литературы

1. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» (утв.13.12.2012, 995-р).
2. ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий (с поправкой).
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – 1996.
4. СП 276.1325800.2016. Здания и территории. Защита от транспортного шума.
5. Соловьева О.С., Элькин Ю.И. «Оценка шумового загрязнения селитебных территорий от автодороги М-3 Украина, км 37-км 51» // Научное обозрение. педагогические науки – 2019. – № 2-3. – С. 91-95.
6. Програмное обеспечение Copert 5 // CopertEmisia. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://copert.emisia.com/> (дата обращения 10.05.2020).

References

1. ODM 218.2.013-2011 'Protection against traffic noise' (approved 13.12.2012, 995-r).
2. GOST 23337-2014 Noise. Methods for measuring noise in residential areas and in residential and public buildings (as amended).
3. SN 2.2.4 / 2.1.8.562-96 Noise at workplaces, in the premises of residential, public buildings and in residential areas. - 1996.
4. SP 276.1325800.2016. Buildings and territories. Transport Noise Protection.
5. Solovieva OS, Elkin Yu.I. 'Assessment of noise pollution of residential territories from the highway M-3 Ukraine, km 37-km 51' // Scientific Review. Pedagogical Sciences - 2019. - No. 2-3. - S. 91-95.
6. Copert 5 software // CopertEmisia. [electronic resource] - Access mode. - URL: <https://copert.emisia.com/> (accessed 05/10/2020).



Общество с ограниченной ответственностью "Институт акустических конструкций"

ООО "ИАК" занимается разработкой шумозащитных мероприятий более 10 лет.

Организационная структура предприятия:

- отдел акустики;
- отдел проектирования;
- испытательная лаборатория, аккредитованная на измерения физических факторов;
- отдел строительства;
- отдел научных исследований и разработок;
- отдел внедрения;
- планово-экономический отдел.

За годы работы организацией запроектировано большое количество шумозащитных конструкций в различных регионах России (на скоростных автомагистралях, мостах, железных дорогах, эстакадах), в том числе и на таких масштабных объектах, как Кольцевая автодорога и Западный Скоростной диаметр в Санкт-Петербурге, объектах олимпийского Сочи и Республики Крым, реконструкции федеральных автодорог М-8 "Холмогоры", М-4 "Дон" и др. Организацией выполняются проектно-изыскательские работы по проектированию шумозащиты на первой в России Высокоскоростной железнодорожной магистрали "Москва-Казань". Силами испытательной лаборатории осуществляются акустические исследования, отделами акустики и проектирования разрабатываются шумозащитные мероприятия на промышленных, энергетических, культурных и оздоровительных объектах нашей страны. Производство, организованное на базе предприятия, позволяет выпускать любые шумозащитные конструкции, отвечающие всем требованиям государственных стандартов, а опытный персонал в кратчайшие сроки производит сборку и монтаж.

"Наша компания обладает мощными научным и проектным подразделениями с современными технической и интеллектуальной базой, позволяющими выполнять проекты по шумозащите любой сложности от идеи до воплощения. В своей деятельности мы опираемся на лучшие традиции, сочетая их с передовыми технологиями и стараемся сделать наш окружающий мир тише."

Александр Шашурин
Генеральный директор

Сетевой Научный Журнал "Noise Theory and Practice"

ООО "ИАК"

при БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова



Главная цель

Главная цель сетевого научного Журнала "Noise Theory and Practice" — способствовать развитию виброакустики (наука о шуме и вибрации).

Основные задачи

Основными задачами Журнала являются:

- отражение последних достижений в теории и практике борьбы с шумом и вибрацией;
- отражение результатов научно-исследовательских работ по изучению процессов шумообразования, распространения звука и вибрации;
- отражение результатов разработки средств шумо- и виброзащиты, а также результатов иных работ, проводимых в области виброакустики, и выполняемых научными сотрудниками ВУЗов и иных организаций;
- предоставление сведений о планируемых конференциях, семинарах, проводимых в России и других странах;
- предоставление архивных материалов трудов научных конференций, посвященных виброакустике.

Научное цитирование Журнала

Журнал является общедоступным для чтения неограниченным числом пользователей.

Материалы Журнала индексируются в наукометрических базах Российского Индекса Научного Цитирования (РИНЦ), Google Scholar. Журнал включен в научные электронные библиотеки "КиберЛенинка", Соционет, Figshare.

С 21 ноября 2019 г. Журнал "Noise Theory and Practice" включен в ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (п. 42).

