

ISSN 2412-8627

Vol. 4 No. 3

12+

Noise

Theory and Practice

Scientific Journal



III
2018

Acoustic Design Institute

Главный редактор

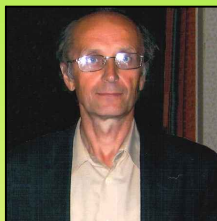
Иванов Николай Игоревич



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 исследова- тельской группы IMAMOTER, работающей в предметной области акустики и вибрации (г. Феррара, Италия)

Sergio Luzzi



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



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

Noise Theory and Practice

Научный журнал

Том 4 №3

Учредитель - Общество с ограниченной ответственностью "Институт акустических конструкций" (ООО "Институт акустических конструкций") 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 77-71448

Содержание

- | | |
|--|------|
| Felicia Doggett, Sooch San Souci
Стресс животных из-за шума и вибрации
стр. 5-9 | АНГЛ |
| Ксенофонтова В.К., Левина Е.А.,
Левин С.В., Храмов А.В.
Влияние высокочастотного шума (4000 Гц) на показатели вариабельности сердечного ритма
стр. 10-14 | РУС |
| Комарова Е.Г., Пименов И.К.
Решение трехмерной обратной задачи по определению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия
стр. 15-21 | РУС |
| Цукерников И.Е., Шубин И.Л.,
Невенчанная Т.О.
Особенности нормирования и оценки вибрации от рельсового транспорта в помещениях жилых и общественных зданий
стр. 22-29 | РУС |
| Заплетников И.Н., Пильненко А.К.,
Квилинский О.Д., Савченко С.М.
Экологический мониторинг измелчительного оборудования предприятий питания
стр. 30-35 | РУС |

Editor-in-chief

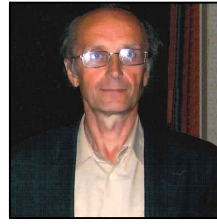
Nickolay Ivanov



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



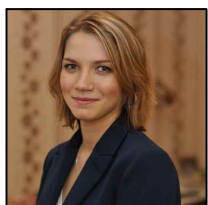
Ph.D. of Engineering Science, Assistant Professor of Environment and Safety chair of the Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

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

Noise Theory and Practice

Scientific Journal
Vol. 4 No. 3

The founder - LLC 'Acoustic Design Institute'
in cooperation with Baltic State Technical
University 'VOENMEH' named after
D. F. Ustinov

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.noisetp.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 77-71448

Contents

Felicia Doggett, Sooch San Souci Animal Stress Due to Noise and Vibration p. 5-9	ENG
Ksenofontova V.K., Levina E.A. Levin S.V., Khramov A.V. High-frequency noise impact (4000 Hz) on heart rate variability p. 10-14	RUS
Komarova E.G., Pimenov I.K. Solution of the 3D inverse problem to determine the noise level at the border of the sanitary protection zone of an industrial enterprise in octave frequency bands p. 15-21	RUS
Tsukernikov I.E., Shubin I.L. Nevenchannaya T.O. Features of normalization and evaluation of vibration from rail transport in premises of residential and public buildings p. 22-29	RUS
Zapletnikov I.N., Pilnenko A.K. Kvilinsky O.D., Savchenko S.M. Environmental monitoring grinding equipment in catering business p. 30-35	RUS

УДК 591.044, 613.644

OECD 01.03.AA, 01.07.RO

Animal Stress Due to Noise and Vibration

Felicia Doggett¹, Sooch San Souci^{2*}

¹ President, Metropolitan Acoustics, Philadelphia Pennsylvania, USA

² Senior Consultant, Metropolitan Acoustics, Philadelphia Pennsylvania, USA

Abstract

Studies have conclusively shown that noise and vibration can adversely affect breeding in laboratory mice and other common research animals. The misperception of the main factors that cause startle and distress in these animals is largely due to our complete lack of awareness of the various phenomenon. Stressors, inaudible to lab personnel, influence the behavior of animals in a myriad of facets and directions. Thus, the design phase of an animal holding facility should recognize potential sources of animal stressors, and how integrating long-term monitoring strategies may maintain or maximize healthy pup yield and minimize behavior changes resulting from stress. The benefits of long-term monitoring include more than animal health, behavior and breeding, but also elevate the productivity of research studies and facility operations, with less down-time.

Key words: Vibration, Ultrasonics, Stress, Animal behavior, Breeding, Laboratory Design, Research Environments.

Стресс животных из-за шума и вибрации

Felicia Doggett¹, Sooch San Souci^{2*}

¹ Президент, Metropolitan Acoustics, Филадельфия, Пенсильвания, США

² Старший Консультант, Metropolitan Acoustics, Филадельфия, Пенсильвания, США

Аннотация

Исследования убедительно показали, что шум и вибрация могут негативно влиять на размножение лабораторных мышей и других распространенных исследовательских животных. Непонимание факторов, вызывающих испуг и страдания у этих животных, во многом объясняется нашим полным отсутствием восприятия этого явления. На этапе проектирования потенциального центра содержания животных следует распознавать потенциальные источники вибрации, слышимого звука или ультразвуковых нарушений и использовать долгосрочный мониторинг, чтобы максимально увеличить появление здорового потомства и свести к минимуму изменения в поведении животных. К преимуществам долгосрочного мониторинга также относятся более продуктивные исследования и эксплуатация оборудования, а также сокращение времени простоя.

Ключевые слова: Вибрация, ультразвук, стресс, поведение животных, разведение, лабораторное проектирование, исследовательская среда.

Introduction

Studies have conclusively shown that audible stressors and vibration can adversely affect behavior and breeding in laboratory mice and the problem is reportedly widespread [1, 2]. New technologies, introduced constantly in the laboratory environment, emit high frequency signals either as a function of their operation or a byproduct of such. Investigators, facility managers, and other professionals working with laboratory mice in medical research facilities are aware that genetic research with transgenic mice colonies can be seriously impacted when breeding performance declines. Efforts to maximize healthy pup yield and minimize costs through sound breeding management practices must also include stress control. Stress has long been understood to be one impediment to successful breeding. Sudden

*E-mail: Info@metro-acoustics.com (Felicia Doggett, Sooch San Souci)

bursts of noise or vibration causing startle are possibly more harmful than some sustained or continuous vibrations. Low frequency building vibrations and ultrasonic sounds are far below and above human detection, leading to the key misunderstanding of the effect of these signals on rodents and small animals.

1. Vibration as a Stressor

Vibrations in holding rooms are known to shake the animal racking and caging equipment. As stressors, vibration sources may be continuous or random. Continuous exposure to vibrations can impose fatigue, behavioral disorders and sleep deficiency [1-6]. Random vibration occurrences have been known to invoke panic in mice whereby they cannibalize their pups when low frequency vibrations are suddenly perceived coming from under their bedding possibly sensing an intruder is approaching.

Vibrations can originate from the exterior of the building via ground-borne transmission or from concrete pavements that bridge the foundation of the building to surrounding streets. Through the foundation, these vibrations travel up columns and load bearing walls to upper levels where damping may not sufficiently mitigate slab vibrations. Traffic, subways, rail lines, and nearby construction are typical culprits of ground-borne vibration. Vibrations can also originate from inside the labs. Cage ventilation systems mounted directly on racks have been shown to cause much vibration and noise. Other vibration sources common to labs are exhaust hoods, refrigeration, elevators, base building HVAC fans, and other motor driven equipment [7].

Building trends have tended towards the use of lighter weight structures for reasons of cost and environmentally responsible design; however, these trends have exacerbated the transmission of vibration throughout buildings [8].

As a design consideration, slab on grade is optimum for labs and holding rooms. For labs on upper levels, spans between beams and slab bay thicknesses should be designed to mitigate any risk of slab resonance resulting from known or predicted forcing frequencies. HVAC fans, exhaust hoods, elevators, refrigeration and other motor driven equipment should be installed with vibration isolation strategies, but may also emit very high frequency noise, above human hearing.

2. Ultrasonic Sound as a Stressor

Ultrasonic sound pollution is rarely considered to be a stressor as normal hearing adults cannot perceive sounds above 20 kHz (fig. 1). Animals of prey, mice, rats, and other rodents have developed ultrasonic vocalization as a defensive adaptation. Rodents use their ultrasonic vocalization for short range communication; vocalization of this type is ideal for communicating in underground burrows, finding breeding mates, and most importantly, communicating threats to one another without detection.

Mice hear between the frequencies of 1 kHz and 90 kHz (fig. 1). The frequency range where mice are the most sensitive to sounds is between 5 kHz and 50 kHz, and mice vocalize between 16 kHz and 35 kHz. As a comparison, the human hearing range is between 20-20,000 Hz. When ultrasonic sound in a lab intrudes in the vocalization range of mice, there is concern that the resulting stress may affect breeding [2, 9-11].

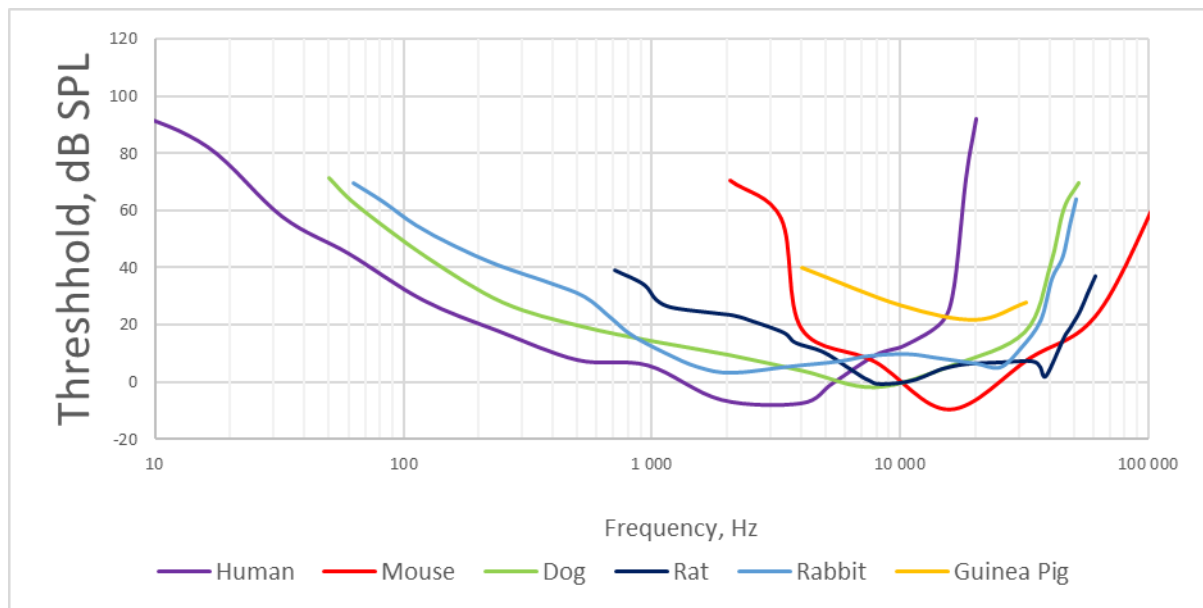


Fig. 1. Auditory thresholds for various mammals commonly found in research applications

The level of stress caused by ultrasonic sound may relate to the actual peak level above the ambient sound levels at these ultrasonic frequencies. As related to human hearing, a squeal can easily be perceived within ambient noise, but becomes a potentially unsettling distraction when the level of the squeal rises significantly above the ambient noise. It is not uncommon to measure ultrasonic noise 10 dB or more above the ultrasonic ambient sound in mice holding rooms. Stress also results from startle due to sudden onset or extended duration of a distraction noise. Humans generally adapt to ambient sounds (acclimation) but this has not been widely studied in rodents in the ultrasonic range from 20 kHz to 90 kHz.

There are many sources of ultrasonic sound in a lab environment including motors, fans, microprocessors and sensors [1, 10, 12]. Artifacts resulting from any size motor driven equipment, from small fans in computers to larger ventilation fans and exhaust hoods, commonly generate some level of ultrasonic sound due to friction from lack of lubrication, rubbing, scraping or skidding of rolling elements against a bearing raceway, mechanical flaws or a contaminated in the lubricant. Many sensors function by producing ultrasonic sound, such as motion detectors for automatic door openers or lighting on/off controls, particulate detection, fluid flow sensors as well as cell phones, monitors and CPUs [1, 10, 12].

As a design recommendation concerning ultrasonic noise pollution, where possible, locate all motors, fans, computers and sensors that employ ultrasonics outside of holding rooms and access hallways [1, 10, 12]. Testing to provide normal operating ultrasonic levels produced by systems and equipment can provide a baseline stressor risk assessment for all spaces where animals are held. Testing should include hallways outside holding and procedure rooms. Ultrasonic motion detectors located outside holding rooms can be heard by animals when holding doors are open.

3. Monitoring for Sound, Ultrasonics, and Vibration

There are many ways to detect and monitor levels of ultrasonic sound and low frequency vibrations. As discussed above, we as humans cannot detect very low frequency vibrations or any levels of ultrasonic sound, which is why conformance monitoring in labs is highly useful. Testing for conformance has become the de facto starting point for protecting animals against stress and sustaining breeding performance, thus removing stress-related behavioral change as a research variable.

A short-term monitoring survey of actual conditions and the testing of equipment provides a baseline. Long-term monitoring of labs, holding and procedure rooms provides continuous awareness to any change in the environment due to new building or research equipment, changes to procedures or personnel work habits; and construction activity interior or exterior to the building. As an example, maintenance to the ventilation systems and exhaust hoods, or general wear over time, can cause an increase in vibration and ultrasonic sound that would not be detected otherwise.

Data from continuous monitoring can be archived and retrieved and correlated with any problem laboratories may have with breeding in specific rooms. It is a highly useful tool for lab managers and personnel to have access to.

Conclusion

Changes in ultrasonic noise and structure-borne vibration appear intermittently and remain unnoticed by all lab personnel. Continuous monitoring provides alerts while data is archived for future review. The opportunity to correlate environmental changes to animal behavioral changes allows additional controls for research. Another advantage of long-term monitoring is proactive control of invisible stressors, avoiding error while increasing the animals' well-being as well as the quality of research.

References

1. Faith R., Miller S., The Need for Sound and Vibration Standards in U.S. Research Animal Rooms, *Animal LAB NEWS*, July/August, 2007
<http://documents.allentowninc.com/ALN-sound%20and%20vibration%20Dr.%20faith%20SM%20-july-aug%202007.pdf>
2. Glickman G., Bensing S., Carmanc R., Characterizing Ambient Noise and Vibration in Facilities Designed for Laboratory Animal Research, *NOISE-CON 2011* Portland, Oregon, 2011 July 25-27
<https://www.researchgate.net/publication/269105829>
3. Guide for the care and use of laboratory animals, Eight Edition, National Research Council, Washington, D.C., 2011 6 pages 50, 142, 149
<https://grants.nih.gov/grants/olaw/guide-for-the-care-and-use-of-laboratory-animals.pdf>
4. Atanasov N.A., Sargent J.L., Parmigiani J.P., Palme R., Diggs H.E. Characterization of Train-Induced Vibration and its Effect on Fecal Corticosterone Metabolites in Mice, *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* Vol 54, No 6, 2015, Pages 737–744 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4671789>
5. Reynolds R., Li Y., Garner A., Norton J. Vibration in mice: A review of comparative effects and use in translational research, *Animal Model Exp Med*. 2018;1:116–124.
https://www.researchgate.net/publication/326673877_Vibration_in_mice_A_review_of_comparative_effects_and_use_in_translational_research
6. Papadimos C., Gorton A., Wowk R. Acoustic and vibration considerations for animal research facilities: planning through construction, *ALN Magazine*, (2010).
<https://www.laboratoryequipment.com/article/2010/06/acoustic-and-vibration-considerations-animal-research-facilities-planning-through>

7. Neil D., McKay D. Canadian council on animal care guidelines on: laboratory animal facilities – characteristics, design and development, Canadian Council on Animal Care, 2003, ISBN 0-919087-41-8

<https://www.ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Facilities.pdf>

8. Nguyen T., Gad E., Wilson J., Lythgo N., Haritos N. Evaluation of footfall induced vibration in building floor, Australian Earthquake Engineering Society 2011 Conference, 18-20 November, Barossa Valley, South Australia

https://www.researchgate.net/publication/264890682_Evaluation_of_footfall_induced_vibration_in_building_floor

9. Jafari Z., Faraji J., Mirza Agha B., Metz G.A.S., Kolb B.E., Mohajerani M.H. The Adverse Effects of Auditory Stress on Mouse Uterus Receptivity and Behaviour, Scientific Reports volume 7, Article number: 4720, 2017.

10. Zoontjens, L., Notes on the acoustical design of animal holding rooms within medical research facilities, Australian Acoustical Society: Proceedings of Acoustics 2012-Fremantle, 81.

https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2012/papers/p81.pdf

11. Reynolds R.P., Kinard W.L., Degraff J.J., Leverage N., Norton J.N., Noise in a laboratory animal facility from the human and mouse perspectives, Journal of the American Association for the Laboratory Animal Science: JAALAS 49.5 (2010): 592-597. Print

12. Anderson M.D. Noise, vibration, and ultrasound design guide, CSTI RP 640., Rev. A, No. 33335-0-2000, 2010.

http://www2.mdanderson.org/depts/cpm/standards/supp_stds/MDACC_NoiseVibrationUltrasoundDG.pdf

УДК 612.85.012.4

OECD 01.03.AA, 03.01.UM

Влияние высокочастотного шума (4000Гц) на показатели вариабельности сердечного ритма

Ксенофонтова В.К.¹, Левина Е.А.², Левин С.В.³, Храмов А.В.⁴¹Магистрант кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»²К.м.н., сурдолог отдела диагностики и реабилитации нарушений слуха³К.м.н., старший научный сотрудник отдела диагностики и реабилитации нарушений слуха⁴Д.м.н., профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»^{1,4}БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ул. 1-я Красноармейская, д. 1, г. Санкт-Петербург, РФ^{2,3}Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, ул.Бронницкая, д. 9, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Из-за повышенного шума в городах заболевания органов слуха является распространенной проблемой в современном мире. Доказано, что люди по-разному реагируют на шумовое воздействие. Исследование показало, что 17% испытуемых наиболее восприимчивы к высокочастотным звукам. Сотрудники шумных предприятий, имеющих низкий порог воздействия шума на организм, наиболее подвержены заболеваниям нервной и сердечно-сосудистой системы, а также заболеваниям, связанным с тугоухостью. Но, как правило, существует обратная ситуация, некоторые люди имеют устойчивость к шумовому воздействию. В связи с этим, необходимо разработать методику профессионального отбора, дабы избежать социальных и экономических проблем.

Ключевые слова: шум, вариабельность сердечного ритма, сердечно-сосудистая система, сердечные сокращения, высокочастотный шум, тугоухость.

High-frequency noise impact (4000 Hz) on heart rate variability

*Ksenofontova V.K.¹, Levina E.A.², Levin S.V.³, Khramov A.V.⁴*¹*Undergraduate student of the Department 'Ecology and life safety'*²*PhD in Medical Sciences, Audiologist of the Department for hearing impairment diagnosis and rehabilitation*³*PhD in Medical Sciences, Senior researcher of the Department for hearing impairment diagnosis and rehabilitation*⁴*Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department 'Ecology and life safety'*^{1,4}*BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, 1 Krasnoarmeyskaya, 1, Saint-Petersburg, Russia*^{2,3}*Saint St. Petersburg Research Institute of Ear, Nose, Throat and Speech, 9 Bronnitskaya Str., 9, St. Petersburg, Russia*

Abstract

Due to the increased noise in the cities, hearing diseases are a common problem in the modern world. It has been proved that people react differently to noise exposure. The study showed that 17% of the test subjects are most susceptible to high-frequency sounds. Employees of the noisy enterprises with a low threshold of noise exposure to the body are most prone to diseases of the nervous and cardiovascular system, as well as diseases associated with hearing loss. But, as a rule, there is a reverse situation, some people have resistance to noise exposure. In this regard, it is necessary to develop a method of professional selection in order to avoid social and economic problems.

Key words: *noise, heart rate variability, cardiovascular system, heart contractions, high-frequency noise, hearing loss.*

Введение

При постоянном воздействии шума на организм, у человека развивается шумовая болезнь. Особенно часто от этого заболевания страдают жители больших городов, где тишина – это редкий ресурс. Также в группу риска входят работники определенных сфер, связанных с повышенным шумом. Любой процесс, вызывающий колебания в разнообразных средах или изменения барометрических показателей, является источником шума. Необходимо провести исследование реакции организма, а именно вегетативной нервной системы (далее – ВНС) и вариабельности ритма сердца, на высокочастотный шум. Так как каждый человек имеет индивидуальную чувствительность к раздражающим факторам, реакция у разных людей может отличаться. В первую очередь, ухудшению здоровья при воздействии высокочастотного шума, подвергаются люди с повышенной восприимчивостью вегетативной нервной системы. Человек, обладающий устойчивостью организма к раздражающим факторам, не имеет ухудшений в работе вегетативной нервной системы, соответственно у такого работника не развиваются болезни слухового аппарата. Необходим анализ результатов исследования влияния высокочастотного шума на показатели вариабельности сердечного ритма для выявления процента людей, имеющих индивидуальную чувствительность к раздражающим факторам.

1. Актуальность темы

Большое количество людей работает в условиях повышенного шума и, как следствие, имеет профессиональную тугоухость. Другие же работники, находясь в тех же условиях, более устойчивы, и тугоухость у них не развивается. Это говорит об индивидуальной чувствительности организма к звукам различной частоты и интенсивности. Важной и практической задачей на сегодняшний день является поиск новых, более эффективных критериев диагностики индивидуальной предрасположенности к этому заболеванию. При этом в научной литературе имеются только единичные исследования влияния шума на показатели вариабельности сердечного ритма (далее – ВСР), отражающие состояние вегетативной регуляции организма человека [1]. Результаты проведенных исследований показывают, что прослушивание шума вызывает существенные перестройки в функционировании кардиореспираторной системы, снижение вариабельности сердечного ритма, уменьшение энтропии, изменение формы облака на графике Пуанкаре (рис.1). По каждой кардиоинтервалограмме строится скаттерограмма или график Пуанкаре (Poincare plot analysis). Построение скаттерограммы заключается в графическом отображении последовательных пар R-R-интервалов (расстояние между соседними сердечными сокращениями) в двухмерной координатной плоскости. При этом по оси абсцисс откладывается величина $R-R_n$, а по оси ординат – величина $R_n - R_{n+1}$, то есть используется временной ряд, сдвинутый относительно исходного на один R-R-интервал. Полученная таким образом область точек является проекцией на плоскость фазовой траектории динамического ряда R-R-интервалов. Это свидетельствует о выраженном напряжении регуляторных механизмов в период прослушивания шума.

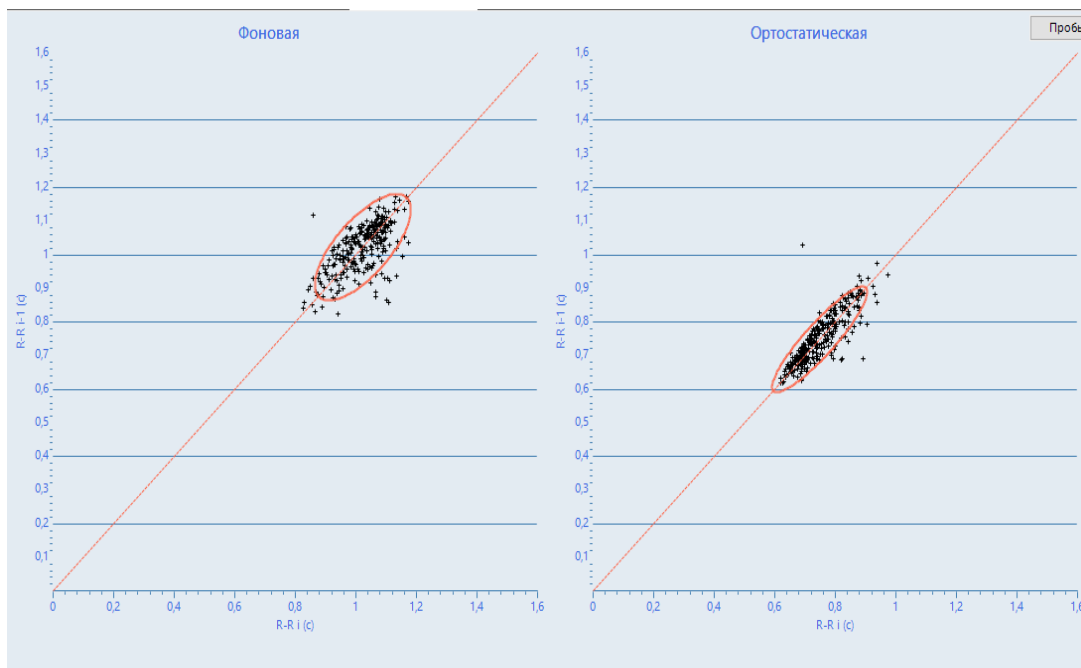


Рисунок 1. Скаттерограмма (график Пуанкаре) – изменение напряжения регуляторных механизмов в период прослушивания шума

Вариабельность сердечного ритма – интервал между соседними сердечными сокращениями, зависит от вегетативной нервной системы, которая регулируется двумя нервными отделами: симпатическим и парасимпатическим [2]. Данный тест очень подходит для проведения скрининговых исследований. Особое внимание следует уделить высокочастотному шуму. Высокие уровни шума (100 – 110 дБ) высокочастотного характера (2000 – 4000 Гц) возникают при работе с режущим инструментом (например, металлорежущие станки). Также зубчатые и ременные передачи, электродвигатели и подшипники в механизме являются источниками звука высокой частоты, особенно если деталь имеет износ или дефект.

2. Методика исследования

На базе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи (НИИ ЛОР) были проведены исследования воздействия неприятного повышенного высокочастотного шума (скрежет металла по стеклу: 4000 Гц, 65 – 70 дБ) на вариабельность сердечного ритма. Исследования были проведены у 30 человек (14 мужчин, 16 женщин) в возрасте от 18 до 23 лет. В эту группу не включались лица с патологией органов слуха, сердечно-сосудистой и нервной систем. Методика исследования: испытуемый помещается в изолированную от раздражающих факторов комнату. Также в комнате находятся два наблюдателя. Далее, в течение 10-ти минут проводится мониторинг показателей дыхания и сердцебиения в горизонтальном положении до их стабилизации. После того, как данные показатели стабилизируются, проводится 5-ти минутная запись пробы *фоновой активности* (R – R интервалы). Фоновая (исходная) запись должна проводиться в условиях покоя в течение не менее 5 минут. Одновременно на аппаратном комплексе фиксируются физиологические показатели: пульс, частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма и дыхание. При воздействии шума на организм, эти показатели позволяют получить интегральную оценку воздействия на сердечно-сосудистую и вегетативную нервную системы. Далее плавный подъем в вертикальное положение (5 минут, запись показателей

не прерывается), происходит активация ВНС (*ортостатическая проба* – метод исследования и диагностирования состояния сердечно-сосудистой и нервной систем, который позволяет выявить нарушения в регуляции работы сердца. Суть теста в переводе тела из горизонтального в вертикальное положение[3]). После – снова горизонтальное положение, стабилизация показателей в течение 10-ти минут. Последний этап – аналогичный 5-ти минутный мониторинг воздействия раздражающего шума на вегетативную систему при воздействии высокочастотного шума.

3. Результаты исследования

После анализа параметров фоновой активности и ортостатической пробы были замечены изменения реакции организма на шумовое воздействие (таблица 1). Оценивались такие параметры как: HR (мс) – средняя частота сердечных сокращений за 10-ти минутную запись, R-Rmin/max (мс) – интервалы между сердечными сокращениями (минимальное/максимальное значение), RRNN (мс) – среднее значение интервалов R-R, SDNN (мс) – стандартное отклонение R-R интервалов на зарегистрированной записи, pNN50 (%) – наиболее часто используемые параметры, определяемые на основе различий между интервалами.

Таблица 1

Отклонения значений фоновой активности при ортостатической пробе (первое значение) и при воздействии высокочастотным шумом (второе значение).

N	HR, мс	R-Rmin, мс	R-Rmax, мс	RRNN, мс	SDNN, мс	pNN50, %
	Высокочастотный шум (4000 Гц)					
1.	31→11	31→8	0,1→13	24→10	59→16	6→55
2.	13→3	19→4	11→1	15→3	7→7	82→19
3.	19→0,4	26→11	11→3	16→0,3	54→14	368→12
4.	31→4	23→8	16→4	24→4	7→15	37→20
5.	3→1	2→13	0,7→8	3→1	2→32	13→8

Выявлено, что у 5-х человек из 30 (17%) обнаруживалась повышенная чувствительность показателей ВСР к шуму (Таблица 1). Так как их показатели, после обработки результатов «до» и «после» воздействия, варибельности сердечного ритма на высокочастотном диапазоне имели заметное различие (15 – 36%), тогда как изменение показателей ВСР у остальных обследованных не являлись столь выраженными и статистически значимыми (2-10%). Реакция на такое шумовое воздействие артериального давления и частоты пульса было несущественным. Это может свидетельствовать о том, что изменения показателей ВСР обусловлено изменениями со стороны именно вегетативной, а не сердечно-сосудистой системы.

Заключение

Таким образом, предварительные результаты показали, что исследование влияния шума на показатели варибельности сердечного ритма позволяет выделить группу лиц (17% обследуемых) с повышенной чувствительностью вегетативной нервной системы к шумовому воздействию. Необходимо дополнительно изучить воздействие низкочастотного шума, так как звук ниже 16 – 20 Гц имеет наибольшее воздействие на психоэмоциональное состояние человека. Продолжение исследований в этом перспективном направлении может обосновать критерии использования показателей ВСР в процессе профотбора и при проведении медико-экологических тестов у населения

мегаполисов. В результате этого возможно внесение поправок в Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ N302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда»[4].

Список литературы

1. Хураськина Н.В. Вариабельность сердечного ритма у студенток в период адаптации к условиям обучения в ВУЗе: исследовательская работа ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева». // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева, № 4 (76), 2012. с. 185-188.
2. Гора Е. П. Экология человека. Учебное пособие для вузов / Е. П. Гора // – М.: Дрофа, 2007. – 540 с.
3. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода: монография / Владимир Моисеевич Михайлов. – Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 2002. – 290 с., с.43.
4. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ N302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда». Утверждён: 12 апреля 2011 г. Принявший орган: Минздравсоцразвития России. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 21.10.2011 N 22111.

УДК 534.833.522

OECD 01.03.AA

Решение трехмерной обратной задачи по определению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия

Комарова Е.Г.¹, Пименов И.К.²¹ Инженер первой категории АО «Концерн «МПО - Гидроприбор», г. Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 24² Профессор каф. «Гидрофизических средств поиска» СПбГМТУ, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3

Аннотация

Традиционным методом снижения шума на селитебных территориях является разработка санитарно-защитных зон промышленных предприятий. При этом основой разработки является расчет шума на границе СЗЗ, основанный на прямых методах расчета, когда по известным характеристикам источников шума определяется величина акустического поля. В основе такого подхода обычно используются результаты измерений уровня шума конкретных источников шума, выполненные непосредственно на территории действующего предприятия. Однако, выполнение таких измерений часто затруднено, а иногда невыполнимо ввиду невозможности разделения вкладов каждого источника шума в результирующие уровни шума.

Предлагается выполнять измерения в произвольных точках, расположенных на территории предприятия с известными расстояниями до источников шума. Число точек измерения должно превышать количество источников шума. По результатам измерений уровней звука в выбранных точках, рассчитываются значения уровней звуковой мощности источников шума, в предположении отсутствия экранирующих препятствий – решается обратная задача. На втором шаге метода по известным уровням звуковой мощности с учетом экранирующего влияния застройки рассчитываются уровни звука в точках измерений, которые сопоставляются с измеренными значениями. По величине полученных разностей уровней звука корректируются значения уровней звуковой мощности источников.

Разработанный метод акустического расчета СЗЗ позволяет решить многие проблемы при проведении измерений шумовых характеристик источников шума в эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: шум, санитарно-защитная зона, уровни звука, акустический расчет, обратный метод.

Solution of the 3D inverse problem to determine the noise level at the border of the sanitary protection zone of an industrial enterprise

Komarova E.G.¹, Pimenov I.K.²¹ Engineer of the first category of JSC «Kontsern MUW - Gidropribor», Saint-Petersburg, B. Sampsonievskiy PR., d. 24² Professor of «Hydrophysical means of search» State Marine Technical University of St. Petersburg, St. Petersburg, Lotsmanskaya str. 3

Abstract

The traditional method of reducing noise in residential areas is the development of sanitary protection zones of industrial enterprises. The basis of this development is the calculation of noise on the border of the SPZ, based on direct methods for calculation, when on the known characteristics of the noise sources determines the value of the acoustic field. This approach is usually used the results of noise measurements of concrete sources of noise, made directly at the operating enterprise. However, the implementation of such measurements is often difficult, and sometimes impossible due to the inability to separate the contributions of each noise source in the resulting noise levels.

It is proposed to perform out measurements at random points located on the territory of the enterprise with known distances to sources of noise. Number of measurement points should exceed the number of noise

* E-mail: ikpimenov@list.ru (Пименов И.К.)

sources. By results of measurements of sound levels at selected points it is calculated values for sound power levels of noise sources, assuming the absence of screening barriers - solve the inverse problem. At the second step of the known sound power levels based on the screening effect of buildings it is calculated sound levels at the points of measurement, which are compared with measured values. Values of sound power sources shall be adjusted for the value obtained differences of sound levels.

The developed method of acoustic calculation of SPZ allows to solve many problems in the measurement of noise characteristics of noise sources in operating conditions.

Key words: *noise, sanitary protection zone, sound levels, acoustic calculation, the inverse method.*

Введение

Шумовое загрязнение – одна из актуальных проблем современного города. Шум значительно увеличил рост заболеваемости. Из-за него резко ухудшилось качество окружающей среды и, следовательно, условия существования людей.

Для борьбы с шумом на существующих предприятиях разрабатывается санитарно-защитная зона (далее – СЗЗ). Расчет величины шумового воздействия проводится от каждого источника шума предприятия на точки на границе СЗЗ [1, 2]. В основе такого подхода обычно используются результаты измерений уровней шума конкретных источников, выполненные непосредственно на территории действующего предприятия. Однако проведение таких измерений часто затруднено, а иногда невыполнимо, ввиду невозможности разделения вкладов каждого источника в результирующие уровни шума.

В качестве решения поставленных проблем был разработан обратный метод акустического расчета санитарно защитных зон, представленный на международной конференции, посвященной защите населения от повышенного шума [3]. В рассматриваемом методе предлагается выполнять измерения шума в произвольных точках, расположенных на территории предприятия. Источники шума, которые учитываются в расчете, их количество и координаты определяются на основе общих подходов к инвентаризации источников шума. Число точек измерений должно превышать количество источников шума. По результатам измерений октавных уровней звукового давления (далее – УЗД) или эквивалентных уровней звука в выбранных точках, рассчитываются значения эквивалентных и октавных уровней звуковой мощности (далее – УЗМ) источников шума, в предположении отсутствия экранирующих препятствий – решается обратная задача. Затем, по известным уровням звуковой мощности источников шума с учетом экранирующего влияния застройки рассчитываются уровни звука в точках измерений, которые сопоставляются с измеренными значениями. По величине полученных разностей УЗ корректируются значения уровней звуковой мощности источников. Процедура корректирующих расчетов продолжается до получения заданной сходимости результатов расчета и измерения (например, до ± 3 дБА в контрольных точках).

1. Математическая постановка задачи

Математическое решение обратной задачи состоит в определении коэффициентов дифференциальных уравнений квадратичного функционала между измеренными и расчетными значениями интенсивности звука в точках измерений (для n точек измерений и m источников шума):

$$F(n, m) = \sum_n (I_n - \sum_m I_m)^2, \text{ Вт}^2/\text{м}^4 \quad (1)$$

где I_n [Вт/м²] – значения интенсивности звука, определенные из измеренного звукового давления в n точках; I_m – рассчитанные значения интенсивности для m

источников (Вт/м²).

Значения интенсивности звука в n точках рассчитываются по формуле:

$$I_n = \frac{P^2}{\rho \cdot c}, \text{ Вт/м}^2 \quad (2)$$

где ρ – плотность среды (кг/м³); P – звуковое давление в точке измерения (Па); c – скорость звука в среде (м/с).

Значения интенсивности для m источников определяются по формуле (как для случая расположения источника шума на звукоотражающей поверхности):

$$I_m = \frac{W_m}{2 \cdot \pi \cdot r^2}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3)$$

где r – расстояние от источника m до точки измерения n (м); W_m – акустическая мощность « m »-го источника (Вт).

Неизвестными значениями являются значения звуковой мощности источников W_m . Для их определения находится минимум функционала F . Минимум функции нескольких переменных достигается при условии равенства нулю ее частных производных:

$$\frac{dF}{dW_m} = 0. \quad (4)$$

Таким образом, получена система линейных алгебраических уравнений, состоящая из m уравнений с m неизвестными, из которой определяются значения W_m .

Решение системы алгебраических уравнений реализовано в программе MathCad и производится путем обращения матрицы коэффициентов по формуле:

$$W_m = A_{m \times m}^{-1} \times B_{m \times 1}, \quad (5)$$

где A – матрица коэффициентов при W ; B – матрица целых значений.

2. Решение обратной задачи

Из вышеизложенного видно, что в общем виде этот традиционный алгоритм достаточно прост и применим к большому числу источников шума.

Для тестовых задач разница между полученными обратным методом после 2-х шагов итерации в «АРМ-Акустика» результатами расчета уровней звука и полученными прямыми методами на границе санитарно-защитных зон, удаленной от границы предприятия на 50 м составляют не более 2 дБА, что вполне удовлетворительно с практической точки зрения, хотя сходимость результатов можно усилить, используя дальнейшие итерационные шаги в рамках изложенного подхода.

Пример, иллюстрирующий работоспособность метода, относится к расчету шума на границе санитарно-защитной зоны порта «Экономия» в г. Архангельск [3].

После трех шагов итерационной настройки акустической модели порта в г. Архангельск, по результатам измерения шума на его территории, расчетные значения, полученные прямым и обратным методами, в котором учитывались высоты расположения источников, практически совпали. На границе санитарно-защитной зоны разность между рассчитанными двумя методами уровнями звука лежит в пределах ± 2 дБА [4].

2.1. Сходимость метода

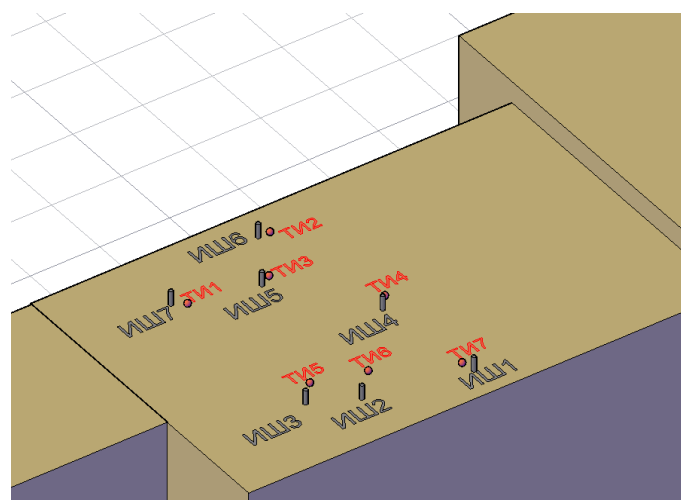
Ввиду того, что система линейных алгебраических уравнений была плохо обусловлена, то для ее более корректного решения был использован специальный подход – метод сингулярного разложения (svd (A)) в среде Mathcad).

Усовершенствование разработанного обратного метода акустического расчета санитарно-защитных зон позволяет лучше решить проблему выделения определенного источника из группы близкорасположенных при проведении измерений шумовых характеристик источников в условиях эксплуатации предприятия. Использование высотной координаты в расчетах [4] позволяет учитывать труднодоступные источники шума, к которым нет доступа на необходимую для проведения измерений дистанцию (например, трубы котельных, скрубберы и объекты с особым режимом доступа). Использование метода сингулярного разложения [5] позволяет улучшить сходимость и более точно определить шумовые характеристики. Исследования различных моделей, с заведомо плохой сходимостью [5], показывают необходимость введения критерия для выбора точек измерений.

В предыдущих работах [3-5] исследования были проведены для производственных шумов, описываемых в параметрах уровней звука. Однако часто, особенно для разработки средств снижения шума, в первую очередь для систем вентиляции, необходимо оценивать источники шума и их вклад в контрольные расчетные точки в октавных полосах частот. При этом, как известно [6], неопределённость (погрешность) измерений сильно зависит от частоты, существенно увеличиваясь в области низких частот.

2.2. Апробация разработанного метода

Для исследования работоспособности метода в октавных полосах частот в данной статье приведены расчеты октавных уровней звукового давления на границе СЗЗ Бокситогорского завода от выбросов систем вентиляции, расположенных на кровле производственного цеха. На рисунке 1 представлена модель, реализованная в программном комплексе АРМ «Акустика».



ТИ – точки измерений; ИШ – источники шума

Рис. 1. Модель кровли производственного цеха Бокситогорского завода

Относительный вклад октавных уровней звукового давления в суммарный уровень звука может быть определен по скорректированным значениям уровней звукового давления (или по скорректированным уровням звуковой мощности в октавных полосах частот). Корректированные по шкале «А» октавные уровни звуковой мощности источников шума (систем вентиляции) приведены на рисунке 2 для выявления основных частот, определяющих вклад в общий уровень звука. Из представленных спектрограмм видно, что основные вклады наблюдаются на частотах

125 Гц, 500 Гц и 1000 Гц, поэтому исследование сходимости метода обратного акустического расчета выполнено для этих частот.

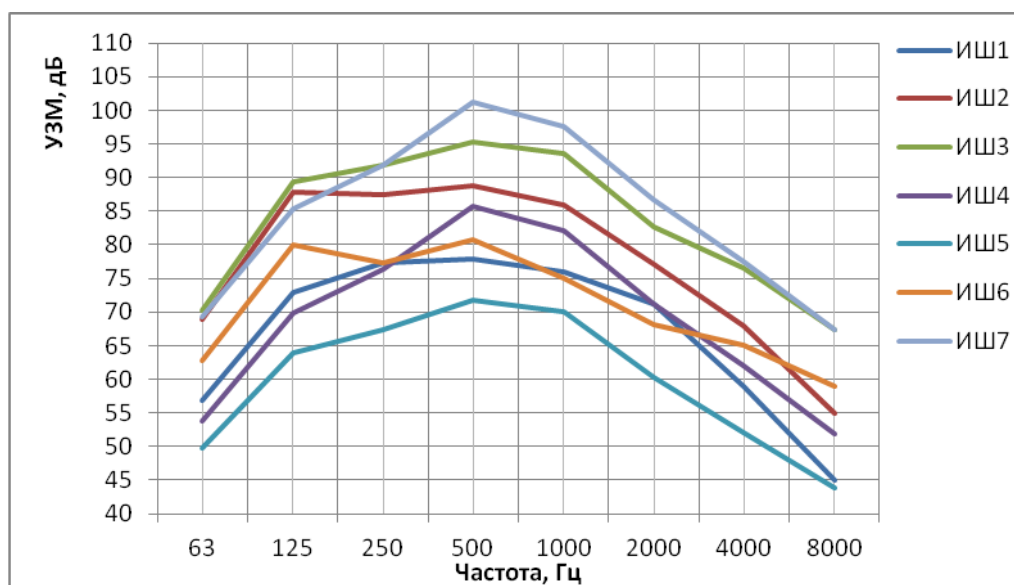


Рис. 2. Корректированные октавные уровни звуковой мощности источников шума

Сопоставление уровней звукового давления для частоты 125 Гц, рассчитанных с использованием обратного метода после 2-х шагов корректировки модели в АРМ-Акустика, и «измеренных» в точках наблюдений приведено в таблице 1.

Таблица 1

Рассчитанные обратным методом и измеренные/ заданные значения УЗД (дБ) в точках наблюдений для частоты 125 Гц

ТИ	«Измеренные»/ исходные УЗД, дБ	Рассчитанные обратным методом УЗД на «2»-м шаге корректировки, дБ	Разность, дБ
1	2	3	4
1	84	86,3	-2,3
2	82,2	82,7	-0,5
3	78	80,3	-2,3
4	81,9	81,3	0,6
5	88,5	87,7	0,8
6	85,4	85	0,4
7	81,5	81,4	0,1

Разность между результатами расчета уровней звукового давления для частоты 125 Гц на границе санитарно-защитной зоны (1000 м от границы завода) прямым методом и обратным представлена в таблице 2.

Таблица 2

Значения УЗД для частоты 125 Гц на границе СЗЗ

РТ	Рассчитанные прямым методом УЗД, дБ	Рассчитанные обратным методом УЗД на «2»-м шаге корректировки, дБ	Разность, дБ
1	2	3	4
1	35	35,2	0,2
2	23,2	23,9	0,7

Сопоставление уровней звукового давления для частоты 500 Гц, рассчитанных с использованием обратного метода после 5-ти шагов корректировки модели в АРМ-Акустика, и «измеренных» в точках наблюдений приведено в таблице 3.

Таблица 3

Рассчитанные обратным методом и измеренные/ заданные значения УЗД (дБ) в точках наблюдений для частоты 500 Гц

ТИ	«Измеренные»/ исходные УЗД, дБ	Рассчитанные обратным методом УЗД на «5»-м шаге корректировки, дБ	Разность, дБ
1	2	3	4
1	86,7	86,5	0,2
2	74,1	75,9	-1,8
3	76	78,5	-2,5
4	84,1	84,2	-0,1
5	81,4	79,7	1,7
6	75,9	77,3	-1,4
7	73,9	74,9	-1

Разность между результатами расчета уровней звукового давления для частоты 500 Гц на границе санитарно-защитной зоны (1000 м от границы завода) прямым методом и обратным представлена в таблице 4.

Таблица 4

Значения УЗД для частоты 500 Гц на границе СЗЗ

РТ	Рассчитанные прямым методом УЗД, дБ	Рассчитанные обратным методом УЗД на «5»-м шаге корректировки, дБ	Разность, дБ
1	2	3	4
1	25,6	27,2	1,6
2	10,4	11,6	1,2

Сопоставление уровней звукового давления для частоты 1000 Гц, рассчитанных с использованием обратного метода после 3-х шагов корректировки модели в АРМ-Акустика, и «измеренных» в точках наблюдений приведено в таблице 5.

Таблица 5

Рассчитанные обратным методом и измеренные/заданные значения УЗД (дБ) в точках наблюдений для частоты 1000 Гц

ТИ	«Измеренные»/ исходные УЗД, дБ	Рассчитанные обратным методом УЗД на «3»-м шаге корректировки, дБ	Разность, дБ
1	2	3	4
1	79,7	78,6	1,1
2	66,6	68,1	-1,5
3	69,6	71,5	-1,9
4	77,2	77,3	-0,1
5	76,2	74,5	1,7
6	70,1	70,6	-0,5
7	68,5	68,9	-0,4

Разность между результатами расчета уровней звукового давления для частоты 1000 Гц на границе санитарно-защитной зоны (1000 м от границы завода) прямым методом и обратным представлена в таблице 6.

Таблица 6
Значения УЗД для частоты 1000 Гц на границе СЗЗ

РТ	Рассчитанные прямым методом УЗД, дБ	Рассчитанные обратным методом УЗД на «3»-м шаге корректировки, дБ	Разность, дБ
1	2	3	4
1	14,2	16	1,8
2	0	0	0

Исследование показало, что метод работает в октавном диапазоне частот. С ростом частоты растет количество шагов итерации и увеличивается разница между рассчитанными двумя методами уровнями звукового давления. Однако эта разница лежит в пределах ± 2 дБ, что вполне допустимо.

Заключение

Разработанный метод акустического расчета СЗЗ позволяет решить многие проблемы при проведении измерений шумовых характеристик источников шума в эксплуатационных условиях:

- выделения определенного источника из группы близкорасположенных;
- труднодоступность источника шума для проведения измерений вблизи него;
- трудоемкость замеров и высокая квалификация специалистов, выполняющих акустические измерения.

В частности, при измерении шума от множества выбросных патрубков, кучно расположенных на кровле одного здания, представляется возможным определение УЗМ каждого источника шума в октавных полосах частот.

Список литературы

1. ГОСТ 31295.2-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета».
2. ГОСТ 31297-2005 «Шум. Технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума для оценки уровней звукового давления в окружающей среде».
3. Пименов И.К., Комарова Е.Г., Ягло М.А. Обратный метод акустического расчета санитарно-защитной зоны. III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 2011.
4. Пименов И.К., Комарова Е.Г. Решение трехмерной обратной задачи по определению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия. IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», СПб, 2013.
5. Пименов И.К., Комарова Е.Г. Особенности применения обратного метода акустического расчета для оценки санитарно-защитных зон промышленных предприятий. XXVII сессия Российского акустического общества, Санкт-Петербург, 2014 г.
6. ГОСТ 17168-82 (СТ СЭВ 1807-79) «Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний».

УДК 699.842

OECD 02.00.00/02.01.00/02.01.IM

Особенности нормирования и оценки вибрации от рельсового транспорта в помещениях жилых и общественных зданий

Цукерников И.Е.¹, Шубин И.Л.², Невенчанная Т.О.^{3*}¹Д.т.н., главный научный сотрудник, НИИСФ РААСН, Москва, Россия²Д.т.н., директор, НИИСФ РААСН, Москва, Россия³Д.т.н., профессор, Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация

Дан анализ нормативной и технической документации, устанавливающей требования к нормированию непостоянной вибрации. Отмечены существующие противоречия и предложены рекомендации по их устранению. Показано, что в соответствии с действующими санитарными нормативными документами в качестве нормируемого параметра вибрации рельсового транспорта следует принимать эквивалентное значение частотно скорректированной виброскорости или виброускорения или их уровней. Для рабочих мест таким параметром принято виброускорение. Приведены доводы в пользу принятия в качестве нормируемого параметра в помещениях жилых и общественных зданий соответствующих значений виброскорости. Показана необходимость включения в состав нормируемых параметров также максимального значения указанных величин и целесообразность одновременной оценки их обоих значений. Приведены соответствующие нормативные значения. Даны предельные значения нормируемых параметров в октавных полосах типичного для рельсового транспорта диапазона частот, которыми можно руководствоваться при подборе средств виброзащиты.

Ключевые слова: рельсовый транспорт, поезд, вибрация, нормирование, оценка, нормативная документация, нормируемые параметры.

Features of normalization and evaluation of vibration from rail transport in premises of residential and public buildings

Tsukernikov I.E.¹, Shubin I.L.^{2}, Nevenchannaya T.O.³**¹D.Sc., chief scientist officer, NIISF RAACS, Moscow, Russia**²D.Sc., CEO, NIISF RAACS, Moscow, Russia**³D.Sc., professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia*

Abstract

The analysis of the normative and technical documentation establishing the requirements for the regulation of non-constant vibration is given. The existing contradictions are noted and recommendations for their elimination are offered. It is shown that in accordance with the current sanitary regulations, the equivalent value of the frequency corrected vibration velocity or vibration acceleration or their levels should be taken as the standardized parameter of the rail transport vibration. For workplaces acceleration is used as this parameter. The arguments are presented in favor of the adoption of the corresponding values of vibration velocity as a standard parameter in the premises of residential and public buildings. It is shown that it is necessary to include in the composition of the parameters to be regulated the maximum value of these quantities and the expediency of simultaneous evaluation of both values. The corresponding normative values are given. The limiting values of the normalized parameters in octave bands of the frequency range typical for the rail transport are given, which can be used to select the means of vibration protection.

Key words: rail transport, train, vibration, regulation, evaluation, normative documents, standard parameters.

*E-mail: 3342488@mail.ru (Цукерников И.Е.), niisf@niisf.ru (Шубин И.Л.), nevento@mail.ru (Невенчанная Т.О.)

Введение

В последнее время увеличилось число работ, связанных с прогнозированием вибрации, создаваемой рельсовым транспортом (железнодорожные линии и линии метрополитена мелкого заложения) в помещениях жилых и общественных зданий. В больших городах это связано с расширением точечного строительства, когда проектируемые здания оказываются в зоне воздействия указанных видов рельсового транспорта. Так из обследованных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» в 2014 – 2017 г.г. помещений в Москве в среднем 43% не отвечают гигиеническим требованиям [1]. Вместе с тем существующие подходы к оценке непостоянной вибрации зачастую носят весьма условный характер и не учитывают в полной мере требований действующих нормативных документов [2-5], которые, в свою очередь, также нуждаются в совершенствовании. Это приводит к серьезным ошибкам в оценке прогнозируемой вибрации и, как следствие, к значительному удорожанию реализации мероприятий по ее снижению.

1. Выбор нормируемых параметров

Основным документом, устанавливающим требования к нормированию вибрации, являются федеральные санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [2]. Введенные в 2010 г. санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.2645-10 [3] устанавливают требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях, которые следует соблюдать при размещении, проектировании, реконструкции, строительстве и эксплуатации жилых зданий и помещений, предназначенных для постоянного проживания. Они фактически дублируют требования [2] к соответствующим допустимым значениям виброскорости и виброускорения и их уровней. С 1 января 2017 г. введены в действие санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16 [4], усовершенствовавшие требования к вибрации на рабочих местах, в том числе в общественных зданиях. Нормирование вибрации от поездов метрополитена проводится в соответствии со сводом правил СП 120.13330.2012 [5], являющимся актуализированной редакцией действовавших с 2004 г. строительных норм и правил СНиП 32-02-2003 [6]. Методика оценки вибрации от поездов метрополитена (метропоездов) дана в своде правил СП 23-105-2004 [7].

Выбор нормируемых параметров и допустимых значений выполняют с учётом временного характера действующей вибрации. Вибрация, создаваемая в помещениях жилых и общественных зданий от движения рельсового транспорта, имеет непостоянный прерывистый характер и повторяется с интервалом, определяемым графиком движения подвижного состава. Такую вибрацию следует оценивать с учетом времени ее воздействия. В соответствии с требованием п. 5.5 санитарных норм [2] нормируемым параметром такой вибрации является «эквивалентное скорректированное значение ($U_{экс}$) виброскорости или виброускорения или их логарифмический уровень ($L_{U,экс}$), измеренное или вычисленное по формуле:

$$U_{экс} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 \cdot t_i}{T}} \quad (1)$$

или

$$L_{U_{\text{экс}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \cdot t_i \right), \quad (2)$$

где U_i – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости (v , L_v), м/с, или виброускорения (a , L_a), м/с²; t_i – время действия вибрации, ч;

$$T = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3)$$

где n – общее число интервалов действия вибрации».

Необходимо отметить, что в силу выражения (3) при определении значения нормируемого параметра не учитывается ослабление кумулятивного действия вибрации из-за неучета в общем интервале оценки T интервалов времени, в течение которых вибрация отсутствует. Этот недочет исправлен в [4] при определении значения нормируемого параметра вибрации на рабочем месте посредством принятия в качестве T нормативной продолжительности рабочей смены (8 ч) и в сводах правил [5, 7] посредством использования для T времени оценки вибрации в помещениях жилых и общественных зданий (16 ч днем и 8 ч ночью).

Таким образом, в соответствии с санитарными нормами [2] в качестве нормируемого параметра вибрации, создаваемой движением рельсового транспорта, следует принимать эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения или их логарифмический уровень. При этом в соответствии с [4] для рабочих мест такой величиной является виброускорение. Для поездов метрополитенов в соответствии с [5, 7] – виброскорость. Основаниями для выбора виброскорости в качестве нормируемого параметра были следующие обстоятельства [8]: допустимые значения виброскорости для частотного спектра, свойственного вибрации от метропоездов (октавные полосы со среднегеометрическими частотами 31,5 – 63 Гц), соответствуют значениям, установленным в [2, 3] для скорректированной величины; частотные весовые коэффициенты для подлежащих оценке спектральных полос вибрационного сигнала равны 1; уровень звукового давления структурного шума в помещении определяют по значениям виброскорости колебания ограждающих поверхностей помещения. Кроме того, немецкими специалистами установлено и отражено в нормах [9], что восприятие человеком вибрации пропорционально величине виброскорости. Эти основания могут быть распространены и на железнодорожный транспорт, поскольку измерения показывают, что создаваемая вибрация выделяется над фоном в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4 – 63 Гц для грузовых и 16 – 250 Гц для пассажирских и скоростных поездов.

Воздействие изменяющегося во времени фактора, как правило, наряду с эквивалентным значением нормируемого параметра характеризуют также его максимальным значением. Это имеет место для таких вредных акустических факторов как шум и инфразвук (см. [4] и действующие нормативные документы по указанным факторам). Для шума допустимые значения для максимального уровня звука A в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки приняты на 15 дБА большими чем для эквивалентного уровня. В ГОСТ 31191.1-2004 [10], устанавливающим общие требования к измерению общей вибрации и оценке ее воздействия на человека, в качестве максимального значения принято максимальное текущее среднеквадратичное значение MTVV (аббревиатура английского термина «maximum transient vibration value»). Оно соответствует максимальному значению

контролируемого параметра на периоде измерений. При этом измерения рекомендуется проводить с постоянной времени $\tau = 1$ с, что соответствует характеристике «медленно» (*S* – slow) шумомера. Далее для простоты эту величину будем называть максимальным значением параметра вибрации. В немецких нормах [9] установлены предельные значения для аналогично определяемой максимальной вибрации (KB_{Fmax}) [11], измеряемой с постоянной времени $\tau = 0,125$ с (соответствующей характеристике «быстро» (*F* – fast) шумомера). В российских санитарных нормативных документах [2–4], устанавливающих требования к нормированию вибрации, ограничение максимального значения воздействующего параметра не предусмотрено. Лишь во введенных в 2001 г. СанПиН 2.1.2.1002-00 [12] (п. 6.2.3), устанавливающих санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям, было указано, что «максимальные значения измеряемых уровней вибрации не должны превышать допустимые более чем на 10 дБ». Руководствуясь этим положением, в сводах правил [5, 7] в качестве второго нормируемого параметра было принято определяемое указанным выше способом максимальное значение виброскорости и введены для него допустимые значения в соответствии с нормативными документами [2, 12]. Однако в 2010 г. нормы [12] были заменены на нормы [3], в которых указанное положение о нормировании максимального значения отсутствует. В результате при практической оценке вибрации от рельсового транспорта (в том числе и метропоездов), руководствуясь стандартом [10], измеряют максимальное значение уровня виброускорения. Выполнить такое измерение значительно проще измерения эквивалентного значения по методике свода правил [7]. Измеренное максимальное значение сравнивают с уменьшенным на 10 дБ допустимым уровнем, установленным в [2, 3] для эквивалентного нормируемого параметра. Это приводит к существенному завышению воздействующей вибрации и, как следствие, к значительному удорожанию реализации мероприятий по ее снижению. Так НИИСФ РААСН выполнены исследования по оценке ожидаемых уровней вибраций от движения поездов Калужско – Рижской линии метрополитена г. Москвы в проектируемом жилом доме, располагаемом по адресу: г. Москва, ул. Вавилова, вл. 4. Установлено сопоставление с допустимым уровнем из [2] максимального скорректированного уровня виброускорения вместо использования эквивалентного скорректированного уровня виброскорости приводит к неправомерному завышению требуемого снижения превышения вибрации на 6 – 8 дБ для различных корпусов проектируемого жилого дома.

2. Оценка вибрации

Вибрация рельсового транспорта по способу передачи на человека является общей вибрацией и подразделяется на действующую вдоль осей ортогональной системы координат x , y , z , соответствующей базицентрической системе координат для тела человека по [10]. Оценку общей вибрации, воздействующей на человека внутри здания, выполняют по ГОСТ 31191.2 [13] посредством измерения в трёх указанных взаимно перпендикулярных направлениях. При этом систему координат выбирают, привязывая её к конструкции здания так, чтобы оси координат лежали преимущественно в плоскостях, параллельных плоскостям основных несущих элементов. Направления осей выбирают совпадающими с направлениями соответствующих осей для стоящего человека по [10], т.е. x (от спины к груди) и y (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; z - вертикальная ось, перпендикулярная полу.

С учетом отмеченного в предыдущем пункте для непротиворечивой оценки вибрации, создаваемой в помещениях жилых и общественных зданий рельсовым транспортом, следует

- для метропоездов руководствоваться положениями сводов правил [5, 7];
- для железнодорожного транспорта – руководствоваться допустимыми значениями эквивалентной $v_{w,эkv,доп}$ и максимальной $v_{w,макс,доп}$ виброскорости и их уровней $L_{v_{w,эkv,доп}}$, $L_{v_{w,макс,доп}}$, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Допустимые значения вибрации в помещениях жилых и общественных зданий

Помещение	Время суток	Допустимое значение по осям x, y, z			
		$v_{w,эkv,доп} \cdot 10^4$, м/с	$L_{v_{w,эkv,доп}}$, дБ	$v_{w,эмакс,доп} \cdot 10^4$, м/с	$L_{v_{w,макс,доп}}$, дБ
Жилое	с 7 до 23 ч	0,63	62	1,99	72
	с 23 до 7 ч	0,35	57	1,12	67
Палаты больниц и санаториев	с 7 до 23 ч	0,45	59	1,41	69
	с 23 до 7 ч	0,25	54	0,79	64
Административно-управленческое	-	0,89	65	2,81	75
Помещения школ, учебных заведений, читальных залов библиотек	-	0,63	62	1,99	72

Оценку вибрации на соответствие допустимым значениям следует проводить одновременно по эквивалентному и максимальному значениям скорректированной виброскорости так, что превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным требованиям.

Для оценки вибрации, создаваемой рельсовым транспортом на рабочих местах в общественных зданиях, следует руководствоваться предельно допустимыми значениями эквивалентного скорректированного виброускорения за 8-часовую рабочую смену $a_{w,8h,доп}$ и его уровня $L_{a_{w,8h,доп}}$, приведенными в таблице 2.

Таблица 2

Предельно допустимые значения вибрации на рабочих местах общественных зданий

Предельно допустимое значение по осям			
x, y		z	
$a_{w,8h,доп}$, М/с ²	$L_{a_{w,8h,доп}}$, дБ	$a_{w,8h,доп}$, М/с ²	$L_{a_{w,8h,доп}}$, дБ
0,0099	80	0,014	83

Вместе с тем, так как характеристики средств снижения вибрации задаются в полосах частот, для подбора требуемых средств виброзащиты необходимо наряду с максимальными и эквивалентными значениями нормируемых параметров знать соответствующие предельные значения этих параметров в октавных полосах частот.

Такие значения для помещений жилых и общественных зданий и для рабочих мест, принятые в соответствии с [2], приведены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Предельные значения нормируемых параметров виброскорости в помещениях жилых и общественных зданий

$f_{ст}, \text{Гц}$	Предельное значение по осям x, y, z			
	$v_{w,экр,дон} \cdot 10^4, \text{м/с}$	$L_{v_{w,экр,дон}}, \text{дБ}$	$v_{w,эмакс,дон} \cdot 10^4, \text{м/с}$	$L_{v_{w,макс,дон}}, \text{дБ}$
Жилое помещение в ночное время суток (с 23 ч до 7 ч) ^{1),2)}				
4	0,56	61	1,77	71
8	0,35	57	1,12	67
16	0,35	57	1,12	67
31,5	0,35	57	1,12	67
63	0,35	57	1,12	67
Административно-управленческое помещение ³⁾				
4	1,41	69	4,46	79
8	0,89	65	2,81	75
16	0,89	65	2,81	75
31,5	0,89	65	2,81	75
63	0,89	65	2,81	75
¹⁾ В дневное время в помещениях допустимо увеличение предельных значений в 1,78 раза (предельных уровней на 5 дБ).				
²⁾ В палатах больниц и санаториев предельные значения должны быть снижены в 1,41 раз (предельные уровни – на 3 дБ).				
³⁾ Для помещений школ, учебных заведений, читальных залов библиотек предельные значения должны быть снижены в 1,41 раз (предельные уровни – на 3 дБ).				

Таблица 4

Предельные значения нормируемых параметров виброускорения на рабочих местах в помещениях общественных зданий

$f_{ст}, \text{Гц}$	Предельное значение по осям			
	x, y		z	
	$a_{w,8h,дон}, \text{м/с}^2$	$L_{a_{w,8h,дон}}, \text{дБ}$	$a_{w,8h,дон}, \text{м/с}^2$	$L_{a_{w,8h,дон}}, \text{дБ}$
4	0,010	80	0,014	83
8	0,010	80	0,014	83
16	0,020	86	0,028	89
31,5	0,040	92	0,056	95
63	0,080	98	0,112	101

Значения нормируемых параметров следует определять либо посредством измерений с помощью интегрирующих цифровых приборов с использованием записи истории процесса, либо расчётом по значениям в октавных полосах частот с помощью выражений:

$$v_w = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i v_i)^2}, \quad (4)$$

$$L_{v_w} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{v,i}+L_{w,i})}, \quad (5)$$

$$a_{w,экв} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i a_{экв,i})^2}, \quad (6)$$

$$L_{a_{w,экв}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{a,экв,i}+L_{w,i})}, \quad (7)$$

где v_i , $a_{экв,i}$ и $L_{v,i}$, $L_{a,экв,i}$ – значение эквивалентной (максимальной) виброскорости, м/с, эквивалентного виброускорения, м/с², и их уровней, дБ, в i -й октавной полосе; w_i , $L_{w,i}$ – значение функции частотной коррекции и её уровня, дБ, для среднегеометрической частоты i -й октавной полосы; n – число учитываемых октавных полос: $n = 3$ для метропоездов (октавные полосы со среднегеометрическими частотами ($f_{сг}$) 16, 31,5, 63 Гц), $n = 5$ для железнодорожного транспорта (октавные полосы с $f_{сг} = 4, 8, 16, 31,5, 63$ Гц).

Значения функций частотной коррекции и их уровней принимают по таблице 5.

Таблица 5
 Функции частотной коррекции

$f_{сг}$, Гц	Значение функции частотной коррекции ¹⁾							
	для виброскорости по осям				для виброускорения по осям			
	x, y		z		$x, y (W_d)$		$z (W_k)$	
	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ
4	1	0	0,45	-7	0,5120	-5,82	0,9670	-0,29
8	1	0	0,9	-1	0,2530	-11,93	1,0360	0,31
16	1	0	1	0	0,1266	-17,95	0,7743	-2,22
31,5	1	0	1	0	0,0630	-24,01	0,4031	-7,89
63	1	0	1	0	0,0295	-30,62	0,1857	-14,62

¹⁾ Для виброскорости значения w_i и $L_{w,i}$ приняты по [2], для виброускорения по [10] и ГОСТ ИСО 8041-2006 [14] (приложение В).

Заключение

В качестве нормируемых параметров непостоянной вибрации, создаваемой рельсовым транспортом в помещениях жилых и общественных зданий, следует принимать эквивалентное и максимальное скорректированные значения виброскорости $v_{w,экв}$, $v_{w,макс}$ в м/с или их логарифмические уровни $L_{v_{w,экв}}$, $L_{v_{w,макс}}$ в дБ. Оценку вибрации на соответствие допустимым значениям следует проводить одновременно по эквивалентному и максимальному значениям скорректированного параметра. Превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным требованиям.

Для подбора средств виброзащиты целесообразно применять предельные значения нормируемых параметров в октавных полосах для свойственного рельсовому транспорту диапазона частот, принятые в соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

Во избежание недоразумений в оценке непостоянной вибрации санитарные нормативные документы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и СанПиН 2.1.2.2645-10 необходимо уточнить. Установить в них однозначные требования к нормируемым параметрам

непостоянной вибрации, включив в их число наряду с эквивалентным максимальное скорректированное значение виброскорости или виброускорения или их логарифмический уровень. Установить также требования к допустимым значениям максимальной величины вибрации. Следует уточнить значение времени усреднения при определении эквивалентного нормируемого параметра, приняв в качестве него время оценки воздействующей вибрации, как это сделано для рабочих мест в СанПиН 2.2.4.3359-16.

Список литературы

1. Руднева Е.А. Анализ результатов измерений уровней вибрации в жилых домах при движении поездов метрополитена, выполненных специалистами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» в период с 2014-2017 гг.//Материалы межд. научно-практич. конф. «Проблемы экологической безопасности, энергосбережение в строительстве и ЖКХ», Москва-Кавала, 2017. – с 22-26.
2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
3. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2010.
4. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2017 .
5. СП 120.13330.2012 СНиП 32-02-2003. Метрополитены. Свод правил. М.: Минрегион России, 2012.
6. СНиП 32-02-2003. Метрополитены. Строительные нормы и правила М.: Метрогипротранс, 2004.
7. СП 23-105-2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. Свод правил. М.: Метрогипротранс, 2004.
8. Tsukernikov I.E, Kostarev S.A., Nekrasov I.A. Choice of a controlled parameter when assessing underground train passing vibration in building// Procced. of the 5-th Intern.l Symp. «Transport noise and vibration», St.Petersburg, Russia, 2000.- Тn-s 2-08.
9. DIN 4150, Teil 2. Erschütterungen in Bauwesen. Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Deutsche Norm. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 1992.
10. ГОСТ 31191.1-2004. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1 – Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010.
11. Theoretische Grundlagen zum Programm VIBRA-1-2-3. Version 4.0/5.1.2009. Ziegler Consultants, SBB CFF FFS, 2009. – 49 p.
12. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001.
13. ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2 – Вибрация внутри зданий. М.: Стандартинформ, 2008.
14. ГОСТ ИСО 8041-2006. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. М.: Стандартинформ, 2008.

УДК [64/.5/.06:62-533.4]:637.513.4

OECD 01.03.AA

Экологический мониторинг измельчительного оборудования предприятий питания

Заплетников И.Н.¹, Пильненко А.К.², Квилинский О.Д.³, Савченко С.М.⁴

¹ Заведующий кафедрой оборудования пищевых производств,

² Доцент кафедры оборудования пищевых производств,

³ Аспирант, ⁴ Магистрант

^{1, 2, 3, 4} Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, ул. Щорса, 31, г. Донецк, Украина

Аннотация

В статье представлены виброакустические характеристики измельчительного оборудования предприятий питания, дана их экологическая оценка в соответствии с современными требованиями стандартов и санитарных норм и правил. Даны рекомендации по экологической эффективности применения данного оборудования.

Ключевые слова: мониторинг, виброакустика, оборудование для измельчения пищевых продуктов, предприятия питания.

Environmental monitoring grinding equipment in catering business

Zapletnikov I.N.¹, Pilnenko A.K.², Kvilinsky O.D.³, Savchenko S.M.⁴

¹ *Professor, Head of the Department of Food Production Equipment*

² *Assistant professor of the Department of Food Production Equipment*

³ *Postgraduate Student, ⁴ Master,*

^{1, 2, 3, 4} *Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

Abstract

The article presents vibroacoustic characteristics equipment for grinding food products catering enterprises. It is given the environmental compliance assessment with modern standards requirements and sanitary norms and rules. It is given the recommendations on ecological efficiency the use of this equipment.

Key words: *monitoring, vibroacoustics, equipment for grinding food products, catering.*

Введение

Измельчительное оборудование получило наибольшее распространение на предприятиях питания. К нему относятся машины измельчения овощей (далее – МРО), протирочные (далее – МП), измельчения мяса (далее – МИМ), нарезания гастрономических изделий (далее – МРГ), измельчения хлеба (далее – МХР), комбинированные, типа протирочно-резательные (далее – МПР).

Производством этого оборудования занимаются разнообразные предприятия: заводы торгового и продовольственного машиностроения, фирмы Bercel, Xelde, Sigma и ряд других, расположенных в различных частях мира.

* E-mail: obladn@kaf.donnuet.edu (Заплетников И.Н.), pilnenko_a@mail.ru (Пильненко А.К.), obladn@kaf.donnuet.edu (Квилинский О.Д., Савченко С.М.)

Несмотря на аналогичные технологические функции по обработке пищевого сырья и пищевых продуктов измельчительное оборудование отличается конструкцией, имеет различные кинематические, динамические, силовые и другие параметрические характеристики. Весьма существенную роль при изготовлении машин, их сертификации и эксплуатации играют и виброакустические характеристики (далее – ВАХ).

Они определяют соответствие экологическим и санитарным нормам, качество конструкций машин, а также конкурентоспособность оборудования на мировых рынках.

1. Основная часть

Целью работы является систематизация значений шумовых характеристик (далее – ШХ) измельчительного оборудования предприятий питания, определение предельно допустимых значений оборудования по шуму (далее – ПДШХ) и провести мониторинг оборудования.

Кафедра оборудования пищевых производств ГО ВПО Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского в лаборатории виброакустики проводит мониторинг шумовых и вибрационных характеристик (далее – ВХ) технологического оборудования предприятий питания. В результате установлены ШХ оборудования в различных режимах его работы: без нагрузки и под нагрузкой с различными продуктами. Исследованиями установлено, что уровень шума, излучаемый оборудованием, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого продукта, его модуля упругости, структуры, плотности и др. [1-3]. В таблице 1 приведены ШХ измельчительного оборудования предприятий питания только по характеристике А, которая принята в последней редакции СанПиН 2.2.4.3359-16 (РФ) по шуму в качестве основной [4, 5] при постоянных шумах, а также ее максимальное значение. Как показали предыдущие эксперименты, измельчительное оборудование предприятий питания излучает именно такие шумы.

Таблица 1

Шумовые характеристики измельчительного оборудования предприятий питания

№ п/п	Наименование оборудования, обрабатываемый продукт	Корректированные под уровни звуковой мощности, дБА				
		Эквивалентные		Максимальный	ПДШХ	Превышение ПДШХ
		без нагрузки	под нагрузкой			
1	2	3	4	5	6	7
1.	Протирочные машины: МП-800	74		76	78	-
	свекла вареная		75			-
	морковь вареная		76			-
	картофель вареный		74			-
	МП-1000	71		78	83	-
	свекла вареная		78			-
	морковь вареная		76			-
картофель вареный		77			-	

Продолжение таблицы 1.

№ п/п	Наименование оборудования, обрабатываемый продукт	Корректированные под уровни звуковой мощности, дБА				
		Эквивалентные		Максимальный	ПДШХ	Превышение ПДШХ
		без нагрузки	под нагрузкой			
1	2	3	4	5	6	7
2.	Машины измельчения сырых овощей:					
	МРО 50-200	70		78	78	-
	свекла		78			-
	морковь		77			-
	картофель		77			-
	капуста		78			-
	МРО-350	79		86	78	8
	свекла		86			8
	морковь		85			7
	картофель		83			5
	капуста		83			5
	«Гамма 5А»	74		89	77	-
	свекла		87			10
	морковь		85			8
	картофель		89			12
	капуста		84			7
	МРО 400-1000 (с барабанным загрузочным приспособлением)	88		89	88	1
	свекла		89			1
	капуста		86			-
	лук		88			-
	Малогобаритный привод УММ-ПР с овощерезкой	85		86	80	6
	Robot Coupe CL-30 (Франция)	82,5	86	82,5	83	0,5
	свекла					-
	картофель		76,6			-
	УКМ с овощерезательным механизмом 170 об/мин	77	79,2	77	77	-
	картофель		74			-
	330 об/мин	82				6
	картофель		83			-
	категории рыба дефростированная (семга)		72,7			-
3.	Машина протирочно- резательная МПР-350	76		89	77	-
	свекла		89			12
	морковь		86			9
	картофель		86			9
	капуста		84			7

Продолжение таблицы 1.

№ п/п	Наименование оборудования, обрабатываемый продукт	Корректированные под уровни звуковой мощности, дБА					
		Эквивалентные		Макси- маль- ный	ПДШХ	Превыш е-ние ПДШХ	
		без нагрузки	под нагрузкой				
1	2	3	4	5	6	7	
4.	Машины измельчения мяса и рыбы						
	МИМ-250 мясо говяжье первой категории	84	84	84	83	1 1	
	МИМ-300 мясо говяжье первой категории	87	87	87	82	5 5	
	МИМ-500 мясо говяжье первой категории	81	84	84	83	1 1	
	МИМ-600 (серийная) мясо говяжье первой категории	86,6		87	83	4 4	
	МИМ-600 с ножами косо- го резания	88,5	87	89	83	6	
	УММ-ПР мясорубка мясо говяжье первой категории	83	84	84	80	3 4	
	Concar ME 12E (Хорватия) мясо говяжье первой	79,7	74,1	79,7 74,1	80	-	
	5.	Машины измельчения гастрономических продуктов МРГУ-370					
		колбаса «Сервелат» «Топаз-195»	80	80	80	84	-
колбаса «Сервелат» колбаса «Салями» колбаса «Молочная» сыр «Российский» хлеб		55,6	57,6 55,6 55,4 55,6 56,6	57,6	80	- - - - -	
6.		Машины нарезания хлебобулочных изделий					
		АХМ-300Т	80		80	82	-
		SYNMAG SL-302 (Италия) батон белый хлеб «бородинский» хлеб «отрубной»	89,3	81,2 80,9 85,0	89,3	86,3	3 - - -
		МХР-200 хлеб пшеничный формовой хлеб «саратовский» хлеб «бородинский» батон нарезной	92	92 92 92 92	92	82	10 10 10 10 10

Измерение ШХ проводилось техническим методом в соответствии со стандартами ГОСТ Р ИСО 3744–2013 [6], в реверберационных помещениях аттестованными шумомерами RFT 00023, 00026 (Германия), а также шумомерами ВШВ-003 и «Ассистент» (РФ). Расчет ПДШХ измельчительного оборудования проведен в соответствии стандартами РФ [7,8] и рекомендациями [1-3], среднеквадратное отклонение воспроизводимости не превышает 1,5 дБА.

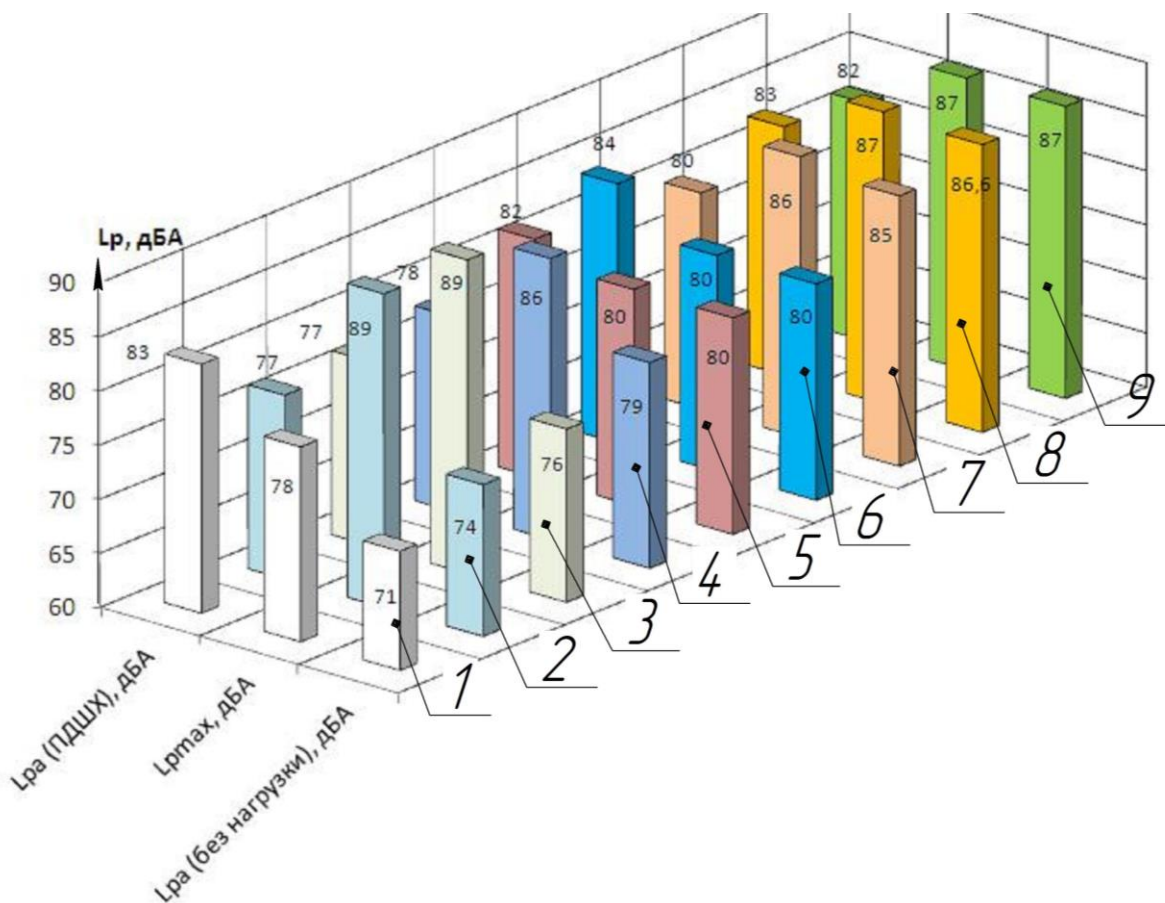


Рис. 1. Шумовые характеристики измельчительного оборудования питания:
1 – протирочная машина МП-1000, 2 – Машина измельчения сырых овощей «Гамма 5А»; 3 – Машина протирочно-резательная МПР-350; 4 – Машина протирочно-резательная МРО-350; 5 – Машина для нарезания хлебобулочных изделий SYN MAG SL-302 (Италия); 6 – Машина измельчения гастрономических продуктов МРГУ-370; 7 – Машина измельчения сырых овощей Robot Coupe CL-30 (Франция); 8,9 – Машины измельчения мяса и рыбы МИМ 600 и МИМ 300

Заключение

Экологическим требованиям среди измельчительного оборудования полностью соответствуют протирочные машины, машины для измельчения сырых овощей МРО 50-200, Robot Coupe CL-30, УКМ (170 об/мин), машины измельчения гастрономических продуктов и мясорубка Concar ME 12E.

Уровень шума, значительно превышающий ПДШХ, излучают овощерезки «Гамма-5», МПР-350, МРО-350 и хлебозрезка МХР-200 при работе с продуктом.

Мясорубки МИМ-300 и МИМ-600 также требуют снижения ШХ при работе с продуктом.

ШХ оборудования, в основном, соответствуют экологическим требованиям по шуму при работе без нагрузки.

Заводам-изготовителям данного оборудования рекомендуется разрабатывать его конструкцию с ШХ, соответствующую рабочему режиму.

Список литературы

1. Заплетников И.Н. Виброакустика оборудования пищевых производств: монография / И.Н. Заплетников. – Харків: Вид-во НТМТ, 2015. – 542 с. ISBN 978-617-578-223-1.
2. Пильненко А.К. Исследование влияния технологических параметров на шумовые характеристики машины для измельчения мяса / А.К. Пильненко, И.Н. Заплетников, О.Д. Квилинский // «Вестник ВГУИТ»: научно-практ. журнал. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – №4. – С. 41-48.
3. Заплетников И.Н. Шумовые характеристики оборудования общественного питания и показатели его качества / И.Н. Заплетников, А.К. Пильненко, И.С. Севаторова // Noise Theory and practice: Научный журнал ООО «Институт акустических конструкций» – СПб: ООО «Институт акустических конструкций», 2017. – Вып. 3. – №2. – С.17-24.
4. ГОСТ 12.1.003 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 26 с.
5. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах: [URL:ht://docs.cntd.ru/dokument/420362948](http://docs.cntd.ru/dokument/420362948).
6. ГОСТ Р ИСО 3744–2013. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью.
7. ГОСТ 30530-97 Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин.
8. ГОСТ 27409-97 Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования.