

УДК 534.21

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШУМОВОГО ПОЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС

О.А. Горбунова, Г.И. Павлов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия

***Резюме:** В статье рассмотрены вопросы прогнозирования шумового загрязнения от энергетического оборудования ТЭС, промышленных котельных и т.д. С помощью программного обеспечения АРМ «Акустика» и на основе измеренных данных смоделирована акустическая модель района, подверженного шумовому воздействию энергетического оборудования. Показано практическое применение экспериментально-теоретической модели шумового поля для оценки эффективности принимаемых технических решений по снижению шума.*

***Ключевые слова:** шумовое загрязнение, акустический расчет, моделирование шумового поля.*

***DOI:** 10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-84-92*

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL-THEORETICAL MODEL FOR THE NOISE FIELD OF THERMAL POWER PLANT EQUIPMENT

O.A. Gorbunova, G.I. Pavlov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,
Kazan, Russia

***Abstract:** This article studies problems of forecasting of noise pollution by thermal power plant equipment, industrial boilers, etc. An acoustic model of a residential area, exposed to power plant equipment noise nuisance, has been developed by means of AWM “Acoustics” software using obtained data. Practical application of the experimental-theoretical model for the noise field was demonstrated for efficiency estimation of the proposed engineering solution to noise reduction.*

***Keywords:** noise pollution, acoustic computation, noise field modeling.*

Исследования, посвященные шумовому загрязнению окружающей среды, являются актуальной задачей. Наиболее острой проблема шума является в мегаполисах: шум городского транспорта, шумовое загрязнение строительного оборудования, круглосуточный режим работы энергетического оборудования и т.д.

В настоящее время в России основными нормативными документами, регламентирующими шумовую нагрузку на население и окружающую среду являются СН 2.2.4/2.1.8.562-96, СП 51.13330.2011, актуализированная редакция СНиП 23-03-2003, СанПиН 2.1.2.2645-10, ГОСТ Р 53187-2008, ГОСТ 31295.1-2005, ГОСТ 31295.2-2005, СП 23-103-2003, ГОСТ Р 54933-2012.

Строительство жилых домов часто проводится вблизи объектов теплоэнергетической отрасли. Это легко объяснимо – уменьшаются путевые потери тепла при его транспортировке

к потребителю. Однако плотность застройки жилых домов вблизи теплоэнергетических объектов оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Одним из таких воздействий на население является шум. В данной статье обстоятельно рассмотрены вопросы прогнозирования шумового загрязнения от энергетического оборудования ТЭС, промышленных котельных и т.д. Основными источниками шума на этих объектах являются дымососы, насосы, газопроводы, газораспределительные станции и т.д.

Согласно санитарным требованиям, мониторинг шума от объектов энергетики проводится на территориях, непосредственно прилегающих к жилым домам, а также на площадках отдыха на территории микрорайонов. В этом случае измерения проводятся не менее чем в трех точках на ближайшей к источнику шума границе площадок [1].

Нормируемыми параметрами постоянного шума в расчетных точках являются уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц. Для ориентировочных расчетов допускается использование уровней звука LA , дБА. Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука $LA_{экв}$, дБА, максимальные уровни звука $LA_{макс}$, дБА [2] и эквивалентные уровни звукового давления $Lp_{экв}$, дБ, в октавных полосах частот [3].

Измерения указанных величин проводят в дневное и вечернее время с 07.00 до 23.00 и ночью с 23.00 до 7.00 ч. Измерения проводятся в один из рабочих дней (при неизменных режимах работы энергетического предприятия в течение недели) и в один из выходных дней (в случае функционирования предприятия в выходные дни). При первичных наблюдениях измерения проводятся непрерывно в течение суток. При дискретных наблюдениях продолжительность измерения шума устанавливается в соответствии с рекомендациями ГОСТ 31296.2. Процесс измерения в этом случае проводится до стабилизации показаний прибора в пределах выбранной точности измерений [1].

Шумовыми характеристиками технологического и инженерного оборудования, создающего постоянный шум, являются уровни звуковой мощности L_w , дБ, в восьми октавных полосах частот, а оборудования, создающего непостоянный шум – эквивалентные уровни звуковой мощности $L_{w_{экв}}$ и максимальные уровни звуковой мощности $L_{w_{макс}}$ в восьми октавных полосах частот.

Шумовыми характеристиками источников внешнего шума для энергетических предприятий с максимальным линейным размером в плане до 300 м включительно являются эквивалентные уровни звуковой мощности $L_{w_{экв}}$, максимальные уровни звуковой мощности $L_{w_{макс}}$ в восьми октавных полосах частот и фактор направленности излучения в направлении расчетной точки Φ ($\Phi=1$, если фактор направленности неизвестен) [3].

Для составления карты шума плотность измерительных точек выбирается из условия, чтобы разность измеряемых величин в соседних точках не превышала 5 дБА (дБ). Высота микрофона выбирается по ГОСТ 31296.2 для одноэтажных зданий и площадок отдыха на высоте 1,2–1,5 м, в остальных случаях – 4 м. По средним за год (для котельных за отопительный период) значениям показателей шума в измерительных точках и их предельным величинам составляются оперативные шумовые карты. Для этого на планировочную подоснову территории наносятся все имеющиеся объекты инфраструктуры, жилые, промышленные здания и проводятся контуры уровней шума, выделяются зоны акустического дискомфорта.

Для построения таких экспериментальных (по результатам натуральных измерений) шумовых карт средних годовых уровней шума требуется практически неосуществимое большое количество долгосрочных измерений шума. А поскольку прогнозирование эффекта предлагаемых мероприятий по снижению шума выполняется только методами расчета, то при составлении шумовых карт на основе измерений трудно полноценно рассчитать эффект предлагаемых мероприятий. Поэтому расчеты показателей шума при составлении оперативных шумовых карт городских территорий целесообразно проводить

при помощи автоматизированных программ расчета, наиболее полно учитывающих географические особенности территории и позволяющих учесть максимально возможное число влияющих факторов [1].

Сегодня на рынке для проведения акустических расчетов внешнего шума представлен ряд различных программных продуктов. Основными программными комплексами являются:

- программа *SoundPLAN*, разработанная немецкой компанией *SoundPLAN GmbH*;
- программа “*Predictor*”, разработанная совместной голландско-немецкой фирмой “*SoftNoise*” [4];
- программа АРМ «Акустика», разработанная российской компанией ООО «ТЕХНОПРОЕКТ»;
- комплекс программ «Эколог-Шум», разработанных российской компанией «Интеграл»;
- программный комплекс «Гарант-шум», разработанный российской компанией ООО «НПО Фирма Гарант».

Вышеперечисленные программные средства позволяют проводить оценку шумового воздействия на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям и транспортным магистралям, проектировать авто- и железные дороги, разрабатывать и определять эффективности шумозащитных мероприятий, определять санитарно-защитные зоны по фактору шума проектируемых и существующих предприятий, подготавливать документы соответствия предприятий законодательству и нормативам по шуму.

При решении поставленных задач авторы статьи использовали отечественный программный продукт АРМ «Акустика». Данная программа позволяет конструировать неравномерный рельеф местности с любой степенью детализации, городскую застройку произвольных форм, а также сложную дорожную сеть с многоуровневыми развязками, мостами, эстакадами и шумозащитными экранами. Ввод характеристик ограждающих конструкций и источников шума выполняется автоматизированно при помощи встроенного в программу каталога характеристик. Также предусмотрен ручной вариант ввода исходных данных.

В программе имеются возможности по назначению фактора направленности источника шума, принимаемого по справочным данным или натурным замерам. Программа позволяет прогнозировать эффективность работ по снижению акустического воздействия источников шума на нормируемые объекты на территории и в помещениях. Расчёты могут быть выведены в виде шумовых карт произвольной формы и шумовых разрезов для всех октавных частот, эквивалентного и максимального уровней звука [5; 6].

Моделирование акустической обстановки исследуемой территории включило в себя следующие этапы:

- сбор данных об источниках шума;
- составление модели местности (рельеф, жилые дома, здания и помещения котельной, стационарные внешние и внутренние источники шума котельной, ограждения);
- расчет уровней шума от точечных источников котельной;
- построение шумовой карты исследуемой территории;
- анализ результатов и разработка мероприятий по снижению шумовой нагрузки.

В качестве объекта исследования использовалось одно из теплоэнергетических предприятий г. Казани. Для данного предприятия характерным является то, что оно располагается в жилом массиве. Санитарно-защитная зона у объекта не организована, ближайшие жилые дома находятся в 10–15 метрах от границы предприятия. Постоянный шум, излучаемый энергетическим оборудованием, оказывает негативное влияние на жителей поселка. Проведенный на первом этапе анализ акустической обстановки в этом жилом массиве [7] показал значительное превышение санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562-92 по шуму как в дневное, так и в ночное время. Опасность шумового воздействия котельной

обуславливается круглосуточным режимом работы ее энергетического оборудования. Требуемое снижение общего шума в жилой зоне должно составить до 30 дБА.

Выявление источников шума проводилось на основании регистрации акустических сигналов и изучения их спектров. Такие исследования были проведены на территории и внутри объекта. Установлено, что основными источниками шума являются: насосные агрегаты в цехе сетевой воды, редуктор газорегуляторного пункта, дутьевые и дымососные агрегаты дымососного цеха, наружная газовая труба, проходящая по внешнему фасаду котельной.

В качестве основы для построения карты шума использовалась цифровая модель местности – топооснова. На ней отражается следующая информация: отметки высот и контуры высот, функциональное назначение территории, функциональное назначение и высоты зданий, области затухания (наличие и параметры отражающих и экранирующих звук препятствий, лесные массивы и т.п.) [8].

Для разработки топоосновы территории энергетического предприятия и прилегающей к нему жилой зоны в программу АРМ «Акустика» были импортированы планы территории и информации об отметках высот в формате *.dxf. Далее на модель рельефа были нанесены жилые здания селитебной зоны, территория и здание энергообъекта. Жилая застройка района исследования ограничивалась одно- и двухэтажными домами с приусадебными участками.

Внутри помещений предприятия были смоделированы основные источники шума. Шумовые характеристики этих источников определялись экспериментально.

Далее с использованием программного комплекса производились расчеты акустических параметров в жилом массиве, которые впоследствии накладывались на электронную топографическую основу. Для проверки достоверности расчетов назначались контрольные точки с известными акустическими параметрами.

Получено, что расчетный уровень шума в контрольных точках отличался не более чем на 2 дБА от практически измеренных величин. Отклонение результата расчета от измеренной величины на 2 дБ (А) считается допустимым для расстояний до 300 м от источника шума до точки измерений и на 3 дБ (А) – для расстояний свыше 300 м [8]. Это дало основание прийти к выводу об адекватности разработанной экспериментально-теоретической модели шумового поля, создаваемого энергетическим оборудованием объекта.

Акустическая обстановка исследуемого района, воспроизведенная с помощью специализированной программы АРМ «Акустика», в виде шумовой карты показана на рис. 1.

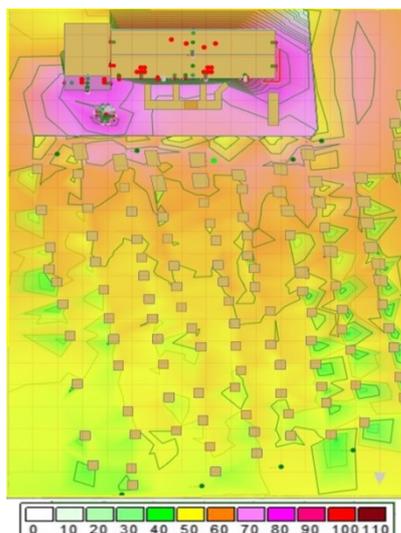


Рис. 1. Шумовая карта территории при работе всех источников шума

В таблице представлены расчетные уровни нормируемых показателей в контрольных точках.

Таблица

Расчетные уровни нормируемых показателей в контрольных точках

№ п/п	Контрольные точки измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									$L_{экв}$, Гц	L_{max} , Гц
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	Силикатная, 24	67,7	66,5	60,6	57,5	64,8	55,8	50,4	43,5	32,6	63,2	63,2
2	Звениговская, 24	73,1	66,1	60,2	60,1	64,7	63,4	60,4	57,3	44,6	67,7	67,7
3	Измайловская, 29	72,7	68,3	57,8	56,9	53,9	55,1	56,0	47,4	32,8	60,6	60,6
4	Полянская, 2	70,7	66,9	56,8	56,6	57,8	58,8	56,4	48,0	32,2	62,5	62,5
5	Лениногорская, 24	68,2	59,3	52,7	55,2	55,2	53,3	46,7	38,3	22,3	57,0	57,0
6	Силикатная, 2	57,1	54,5	46,0	45,7	48,1	40,7	36,5	26,4	0,0	47,5	47,5
7	Звениговская, 2	59,5	53,2	45,7	47,4	48,3	43,6	39,6	30,2	0,0	48,9	48,9
8	Измайловская, 2	60,2	56,2	46,1	46,9	47,9	44,2	40,6	31,5	1,6	49,1	49,1
9	Полянская, 2	60,4	56,8	45,6	44,8	47,4	48,3	44,1	32,9	1,6	51,3	51,3

Шумовые карты удобны для анализа. Они включают в себя информацию о превышении допустимых уровней шума на территории, о распределении населения, подверженного повышенным уровням шума, о количестве жилых домов и других объектов, нормируемых по фактору шума, расположенных на территориях с повышенными уровнями шума.

Разработанную в АРМ «Акустика» экспериментально-теоретическую модель шумового поля объекта можно использовать для оценки эффективности принимаемых технических решений по снижению шума [9–12]. Например, на рис. 2 можно заметить изменение шумового поля при установке на пути распространения акустических волн шумозащитных экранов непосредственно в жилом массиве.

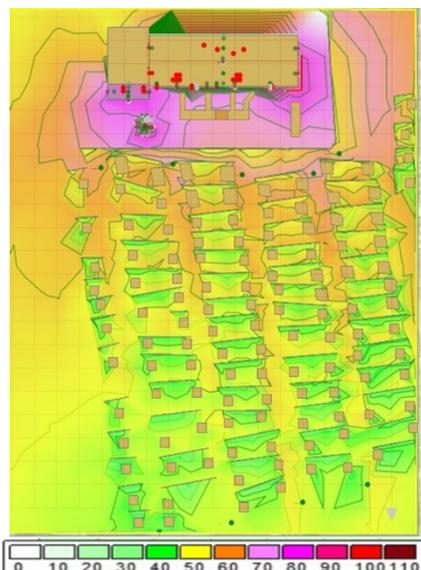


Рис. 2. Шумовая карта при установке акустических экранов на жилых участках

Из анализа карты шума видно, что установка индивидуальных акустических экранов на жилые участки недостаточна для достижения санитарных норм по шуму.

Другим вариантом снижения шума на пути распространения может являться установка акустического экрана вокруг объекта теплоэнергетики (рис. 3, а,б,в).

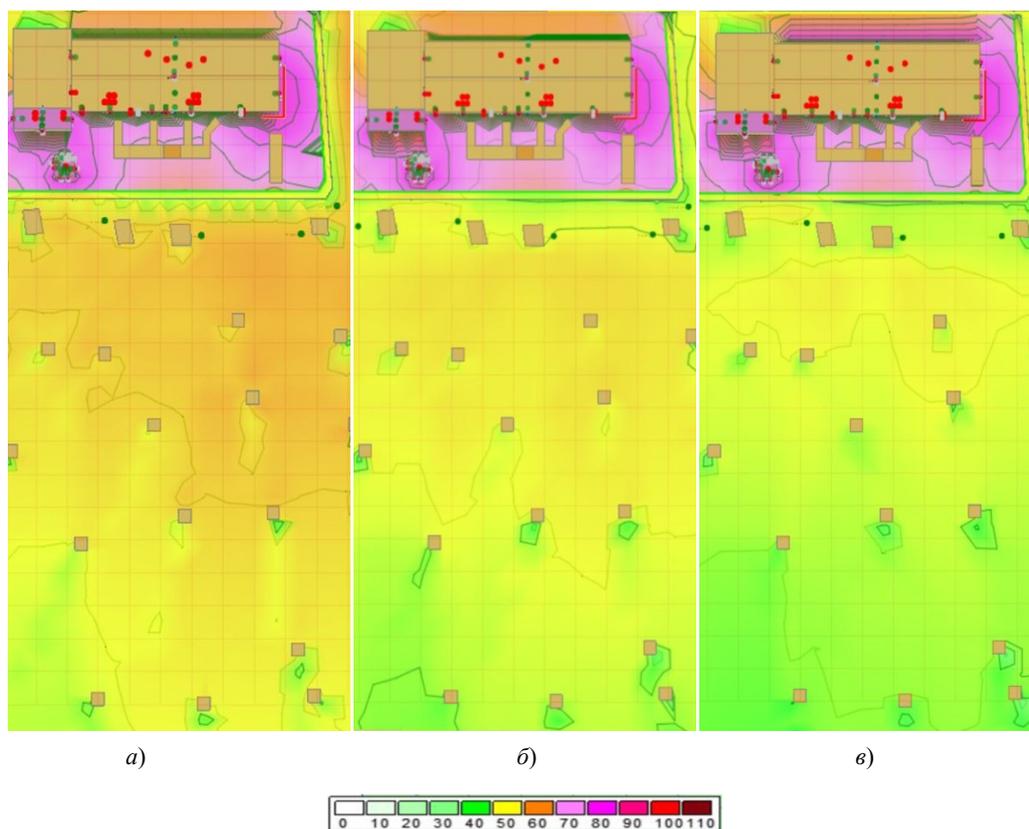


Рис. 3. Шумовая карта санитарно-защитной зоны при установке шумопоглощающего экрана толщиной 0,12 и высотой; а) 6 м; б) 9 м; в) 12 м

Из результатов расчетов видно, что такой вариант шумозащиты также не обеспечивает нормализацию акустической обстановки в жилой зоне.

На рис. 4 показана карта шума, рассчитанная для комбинированного технического решения [9]. Суть решения заключается в принятии мероприятий по снижению уровня звука в каждом основном источнике шума предприятия теплоэнергетики (на величину не менее 10 дБ) и на пути его распространения.

Акустические расчеты показали высокую эффективность комплексного подхода к снижению шума от работы энергетического оборудования предприятия теплоэнергетики.

Следует заметить, что использование современных программных средств позволяет в десятки раз уменьшить объем экспериментальных исследований, уменьшить трудо- и финансовые затраты, сократить временные интервалы реализации того или иного технического решения.

Предложенной методикой можно решить широкий спектр задач по шумовому загрязнению окружающей среды, который все чаще расширяется.



Рис. 4. Шумовая карта санитарно-защитной зоны при внедрении комплекса мероприятий по снижению шума

Литература

1. ГОСТ Р 53187-2008. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
4. Медведев В.Т., Тупов В.Б., Тараторин А.А., Тупов Б.В. Визуализация шумового загрязнения от ТЭС // Электрические станции. 2014. № 3.
5. Кузьмицкий А.В., Никифоров А.В., Иванов А.В. Оценка акустического воздействия на территории жилой застройки и в помещениях с помощью программного комплекса АРМ «Акустика» 3D // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2014. № 3.
6. Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. Сравнение результатов расчета автомобильного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов IV Всерос. науч.-практич. конференции с международным участием. СПб., 2013.
7. Горбунова О.А., Павлов Г.И. Определение исходных данных для выполнения проектно-конструкторских решений по защите населения от шумового загрязнения // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией Н.И. Иванова. Санкт-Петербург, 2015. С. 365–372.
8. Буторина М.В. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией Н.И. Иванова. Санкт-Петербург, 2015. С. 106–114.
9. Горбунова О.А., Павлов Г.И., Накоряков П.В. Разработка проектно-конструкторских решений снижения шума от котельной для защиты населения // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, № 10. С. 44–49.
10. Васинева М.В. Проектно-конструкторские решения для защиты населения от шума // Экология производства. 2014. № 8. С. 68–72.

11. Иголкин А.А. Разработка метода и средств снижения аэродинамического шума в пневматических и газотранспортных системах: дис. ... д-ра техн. наук: 01.04.06. Самара, 2014.

12. Тупов Б.В. Разработка методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газозвдушными трактами тягодутьевых машин ТЭС: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. М.: 2015.

Авторы публикации

Горбунова Оксана Анатольевна – старший преподаватель кафедры «Промышленная и экологическая безопасность» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

Павлов Григорий Иванович – д-р техн. наук, профессор Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

References

1. State Standard 53187-2008 – Acoustics. Noise monitoring of urban areas. (in Russian).
2. Hygiene standards 2.2.4/2.1.8.562-96 – Noise in workplaces, in rooms of residential, public buildings and in the territory of the housing estate. (in Russian).
3. Set of rules 51.13330.2011 Protection against noise. (in Russian).
4. Medvedev V.T., Tupov V.B., Taratorin A.A., Tupov B.V. Visualization of noise pollution from thermal power plant. *Jelektricheskie stancii* [Power plants], 2014, iss. 3. (in Russian).
5. Kuz'mickij A.V., Nikiforov A.V., Ivanov A.V. Assessment of acoustic impact on territories of the residential area and in rooms by means of the Acoustics automated workplace program complex 3D. *Biosfernaja sovместimost': chelovek, region, tehnologii* [Biospheric compatibility: person, region, technologies], 2014, iss. 3. (in Russian).
6. Cukernikov I.E., Tihomirov L.A. Comparison of the results of calculation of road noise of the residential area of Moscow received when using three software. *Zashhita ot povыshennogo shuma i vibracii: Sbornik dokladov IV Vseros. nauch.-praktich. konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* [Protection against the increased noise and vibration. The collection of reports of the IV All-Russian scientific Definition of basic data for implementation of design decisions on protection of the population against noise pollution. and practical conference with the international participation.], St. Petersburg, 2013. (in Russian).
7. Gorbunova O. A., Pavlov G. I. Definition of basic data for implementation of design decisions on protection of the population against noise pollution. *Zashhita ot povыshennogo shuma i vibracii: Sbornik dokladov V Vseros. nauch.-praktich. konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* [Protection against the increased noise and vibration. The collection of reports of the V All-Russian scientific Definition of basic data for implementation of design decisions on protection of the population against noise pollution. and practical conference with the international participation.], St. Petersburg, 2015, pp. 365–372. (in Russian).
8. Butorina M. V. Operational noise maps for railway transport. General requirements and construction methods. *Zashhita ot povыshennogo shuma i vibracii: Sbornik dokladov V Vseros. nauch.-praktich. konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* [Protection against the increased noise and vibration. The collection of reports of the V All-Russian scientific Definition of basic data for implementation of design decisions on protection of the population against noise pollution. and practical conference with the international participation.], St. Petersburg, 2015, pp. 106–114. (in Russian).
9. O.A.Gorbunova, G.I.Pavlov, P.V.Nakorjakov. Development of design and engineering solution to reduce noise from the boiler room to protect the residents. *Jekologija i promыshlennost' Rossii.* [Ecology and industry of Russia], Moscow, 2017, vol. 21, iss. 10, pp. 44-49. (in Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2017-10-44-49.
10. Vasineva M. V. Design and engineering solutions to protect residents from noise. *Jekologija proizvodstva.* [Production ecology], 2014, iss. 8, pp. 68–72.

11. Igolkin A.A. *Razrabotka metoda i sredstv snizhenija ajerodinamicheskogo shuma v pnevmaticheskikh i gazotransportnykh sistemah* Doct. Diss. [Development of a method and means for reducing aerodynamic noise in pneumatic and gas transmission systems. Doct. Diss.]. Samara, 2014.

12. Tupov B.V. *Razrabotka metodov snizhenija shumovogo zagrjaznenija okruzhajushhej sredy gazovozdushnymi traktami tjagodut'evyh mashin TJeS*. Ph.D. thesis. [Development of methods for reducing noise pollution of the environment by gas-air tracts of draft machines of thermal power plants. Ph.D. thesis.]. Moscow, 2015.

Authors of the publication

Oxana A. Gorbunova – Senior teacher of the chair of industrial and ecological safety, Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev – KAI.

Grigory I. Pavlov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev – KAI.

Поступила в редакцию

28 февраля 2018 г.