

УДК 628. 517.2

В.П. ГУСЕВ, д-р техн. наук (gusev-43@mail.ru), А.В. СИДОРИНА, инженер

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы

Дана характеристика воздуховодов систем вентиляции, кондиционирования воздуха и технологических трубопроводов систем холодоснабжения как источников повышенного шума, излучаемого ими в окружающее пространство. Для защиты от него используются различные звукоизолирующие покрытия, эффективность которых зависит от многих параметров. Рассматриваются физико-математическая модель их типовых конструкций и новые экспериментальные данные, касающиеся влияния положительной и отрицательной температуры на эффективность комбинированных покрытий из эластомерных материалов.

Ключевые слова: вентиляция, холодоснабжение, защита от шума, воздуховоды, технологические трубы.

V.P. GUSEV, Doctor of Sciences (Engineering)(gusev-43@mail.ru), A.V. SIDORINA, engineer
Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Acoustic Characteristics of Coatings for Ducts and Process Pipes

The characteristic of the duct of the air supply systems, air conditioning and process piping of refrigeration systems as sources of increased noise radiated into the surrounding space are represented. For protection it uses different zvukoizoliruyuschie coating, the effectiveness of which depends on many parameters. Discusses the physical and mathematical model of their standard designs and new experimental data concerning the influence of positive and negative temperature on the efficiency of combined coatings of elastomeric materials.

Keywords: ventilation, cooling systems, noise protection, ducts, process pipe

Современные общественные и жилые здания невозможно представить без систем вентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха (СКВ), использующих системы холодоснабжения (СХ). Они применяются для создания нормативного микроклимата в помещениях, т. е. участвуют в жизнеобеспечении человека, вместе с тем при работе негативно воздействуют на среду его обитания и здоровье — излучают повышенный шум [1].

К основным источникам повышенного шума СВ и СКВ относятся воздуховоды с их фасонными элементами, а СХ — технологические трубопроводы. Шум каждого из них имеет несколько составляющих, обусловленных разными причинами. Во-первых, это аэродинамический шум, генерируемый вентиляторами, дросселирующими устройствами, насосами, компрессорами холодильных машин и др., распространяющийся внутри воздуховодов и труб и проникающий через их стенки в окружающее пространство. Во-вторых, вибрация, распространяющаяся, как и аэродинамический шум, от названных источников, а также вибрация, возникающая в результате турбулентности потоков внутри сетей трубопроводов. Пульсации давления потоков среды возбуждают вибрацию поверхностей труб, излучающих звуковые волны в окружающее пространство. Интенсивность и частотный спектр такого шума зависят от параметров потока среды, поперечных размеров, толщины стенок, конструкции трубопровода и др. [2–4].

Многолетняя практика борьбы с шумом, включающая предшествующее акустическое обследование объектов разного назначения, показала, что снижение шума воздуховодов СВ, СКВ и трубопроводов СХ — весьма актуальная научно-техническая задача, обусловленная объективными предпосылками.

Во-первых, уровни шума транзитных воздуховодов в помещениях, через которые они проходят, нередко превышают нормативные значения на 15–20 дБ, в за-

висимости от назначения помещений. Превышение уровней шума трубопроводов, и в первую очередь, трасс холодоснабжения в зданиях и на территориях застройки, часто достигает 20–25 дБ. Эксплуатация такого оборудования, как в подобных, так и в других, более благоприятных случаях невозможна без осуществления строительно-акустических мероприятий.

Во-вторых, названные источники шума и средства его снижения недостаточно исследованы не только в нашей стране, но и за рубежом. По количественным и качественным характеристикам шума воздуховодов и трубопроводов существуют единичные материалы, а по средствам снижения шума имеется ряд работ, но с весьма ограниченной информацией. Оптимальными признаны пассивные методы, реализуемые путем установки звукоизолирующих покрытий (кожухов).

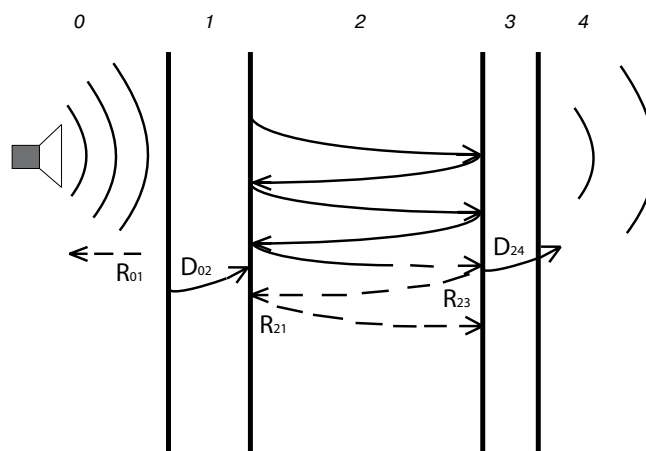


Рис. 1. Схема системы «труба с покрытием» и физический механизм прохождения через нее звуковой энергии: 1 — стенка трубопровода; 2 — звукопоглощающий материал (ЗПМ); 3 — плотность трубы; 4 — окружающее пространство

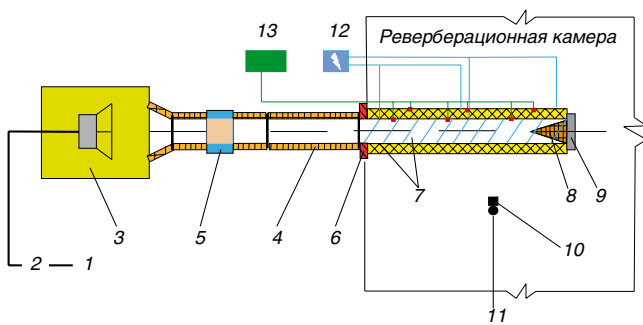


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор «белого» шума; 2 – усилитель мощности; 3 – источник звука; 4 – соединительный воздуховод со звукоизолирующим покрытием; 5 – гибкая вставка, уменьшающая передачу вибрации; 6 – упругий сальник; 7 – испытательная труба (с испытываемым покрытием и без него); 8 – звукопоглощающий клин; 9 – звукоизолирующая заглушка; 10 – микрофон; 11 – шумомер-анализатор спектра «Октава 110А»; 12 – трансформатор; 13 – термометр и термопары

В последние годы в институте выполнен большой объем исследований в данной области. Получены обширные экспериментальные данные, касающиеся эффективности однослойных, многослойных звукоизолирующих покрытий с использованием различных волокнистых, эластомерных материалов и пеностекла [5–7]. Они пригодны для акустического проектирования оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от шума воздуховодов систем вентиляции и холодоснабжения в помещениях зданий различного назначения.

Теоретические основы звукоизолирующих (виброизолирующих) покрытий на излучающие звук поверхности, в том числе на трубы, заложены в 70–80-х гг. годах прошлого века известными учеными Б.Д. Тартаковским, И.И. Боголеповым, Степановым В.Б. Практическое применение они нашли при разработке средств снижения шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов [8].

Физическую модель обобщенной системы «труба с покрытием» на основе представления указанных авторов иллюстрирует рис. 1. Модель реализована в широко используемых в вентиляции гибких воздуховодах, а также при звукоизоляции газопроводов ТЭЦ посредством кожухов из волокнистого звукопоглощающего материала и металлического листа.

Как видно, это многослойная конструкция, включающая полость трубы, ее стенку, полость между трубой и металлическим кожухом-оболочкой, сам кожух и окружающее пространство. Звуковая энергия, распро-

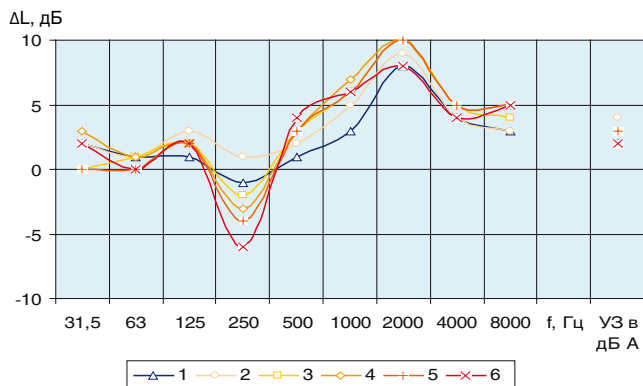


Рис. 4. Изменение звукоизолирующей способности трубы с покрытием при изменении температуры материалов: 1 – 27/22°C; 2 – 40/24°C; 3 – 72/27°C; 4 – 98/32°C; 5 – 100/40°C; 6 – 121/60°C

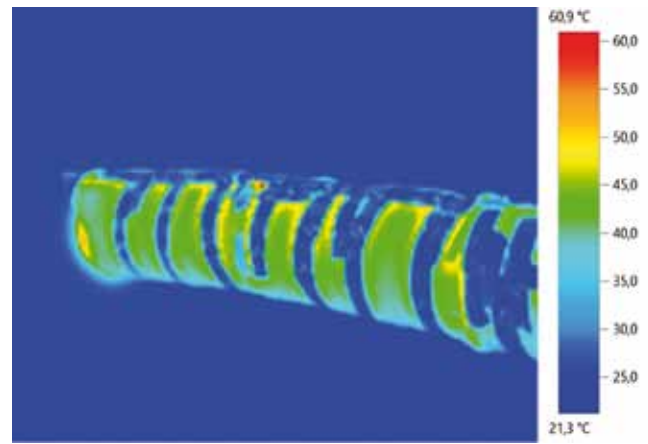


Рис. 3. Тепловизионная съемка на этапе нагрева

страняющаяся внутри трубы (в полости θ , проникает через её тонкую стенку 1 в область 2 , которая может быть заполнена звукопоглощающим материалом (ЗПМ), где она многократно отражаясь, частично затухает. Другая ее часть проникает через тонкую стенку кожуха 3 в окружающее пространство 4 .

Величина собственной звукоизоляции стенки трубы ($R_{тр}$) и эффективность применения звукоизолирующего покрытия ($\Delta L_{п}$) может быть определена по формулам [8]:

$$R_{тр} = 10 \lg D_{04} e^{-2\pi\eta_1};$$

$$\Delta L_{п} = 10 \lg D_{02} D_{24} e^{-\gamma_2 h^2} e^{-2\pi(\eta_1' + \eta_3)} / D_{04} (1 - R_{21} R_{23} e^{-2\gamma_2 h_2}) e^{-2\pi\eta_1};$$

где D и R – локальные коэффициенты прохождения звуковой энергии через стенки 1 и 3 и отражения на их границах; h – толщина слоя; η' , γ – коэффициенты потерь в стенке трубопровода и защитного кожуха при наличии на них вибропоглощающего покрытия; η – коэффициент потерь в стенке трубопровода без покрытия.

Как видно, звукоизолирующие свойства конструкции в целом зависят от суммарного снижения уровня шума в каждом элементе конструкции, точнее от суммарного коэффициента потерь, который определяется в основном коэффициентом потерь материала, размещенного в области 2 , как правило, ЗПМ. Сам коэффициент потерь, в свою очередь, определяется состоянием или свойствами упомянутого материала, которые зависят от его нагревания или охлаждения. Это явилось предпосылкой для постановки задачи очередных экспериментальных исследований.

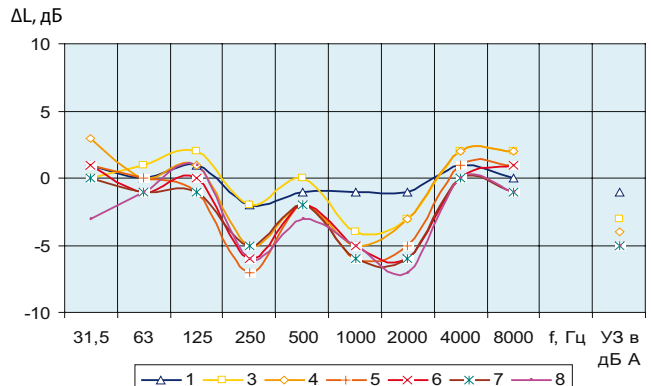


Рис. 5. Изменение звукоизолирующей способности трубы с покрытием при изменении температуры материалов: 1 – 31/30°C; 2 – 43/38°C; 3 – 58/38°C; 4 – 75/45°C; 5 – 99/57°C; 6 – 100/81°C; 7 – 113/90°C; 8 – 116/100°C

Влияние температуры материала на звукоизолирующие качества покрытия определялось, как в предыдущих случаях, по результатам измерений на аэроакустическом стенде института. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Испытывалось покрытие на трубу диаметром 160 мм из эластомерного материала K-FONIK ST GK 072 производства ООО «К-ФЛЕКС». Это двухслойный материал, состоящий из высокоплотного эластомерного слоя GK толщиной 2 мм и плотностью 1470 кг/м³ и теплоизоляционного вспененного слоя ST толщиной 10 мм и плотностью 45 кг/м³.

Перед установкой покрытия на трубу витками на носился греющий электрический кабель во фторопластовой оболочке с шагом в 10 см, обеспечивающий плавный разогрев материала покрытия путем изменения напряжения в цепи. Температура измерялась термомпарами хромель-алюмель на трех участках с шагом 1,4 м.

Для чистоты эксперимента предварительно оценивалось влияние температуры на звукоизолирующую способность испытательной трубы. Было установлено, что при изменении температуры от 25 до 50°C уровень излучаемого трубой шума не изменяется, т. е. звукоизолирующая способность ее стенки не зависит от температуры в указанных пределах.

Для обеспечения максимального нагрева и ограничения теплового потока в окружающую среду указанное звукоизолирующее покрытие непосредственно на трубу устанавливалось высокоплотным GK, а теплоизолирующим вспененным слоем ST вверх (наружу).

Начальная температура покрытия составляла 21,6°C. При нагревании слоя GK она достигала 121°C, а наружного вспененного слоя ST - 60°C. Равномерность прогрева контролировалась с помощью тепловизора. На рис. 3 в качестве примера показано одно из промежуточных состояний покрытия, закрепленного с помощью опоясывающей фольгированной самоклеющейся монтажной ленты (при температуре около 45°C).

Результаты измерения звукоизолирующих свойств покрытия при повышении температуры материалов до указанных пределов, представлены на рис. 4 (первой приведена температура слоя GK, второй слоя ST).

Как видно на рис. 4, при установке покрытия непосредственно на трубе и повышении температуры наблюдается разнонаправленное изменение звукоизоляции покрытия. На низких частотах, например в октавной полосе со среднегеометрической частотой 250 Гц снижение звукоизоляции составляет 5 дБ, а на высоких частотах её повышение достигает 10 дБ.

На третьем этапе покрытие укладывалось на отnose от поверхности трубы, на опоясывающих элементах высотой 10 мм и шириной 32 мм, расположенных с шагом 40 мм. Нагрев слоя GK достигал 116°C, наружный вспененный слой ST при этом прогревался до 100°C.

Результаты измерения звукоизолирующей способности покрытия, установленного на отnose от испытательной трубы, при повышении температуры материалов до указанных пределов представлены на рис. 5.

Видно, что при размещении звукоизолирующего покрытия на отnose и повышении температуры нагрева материалов эффект установки снизился, в основном на 5 дБ.

Изменение звукоизолирующей способности покрытий из эластомерных материалов при изменении отрицательной температуры подробно описано в работе [6]. Результаты испытаний одного из многослойных (ком-

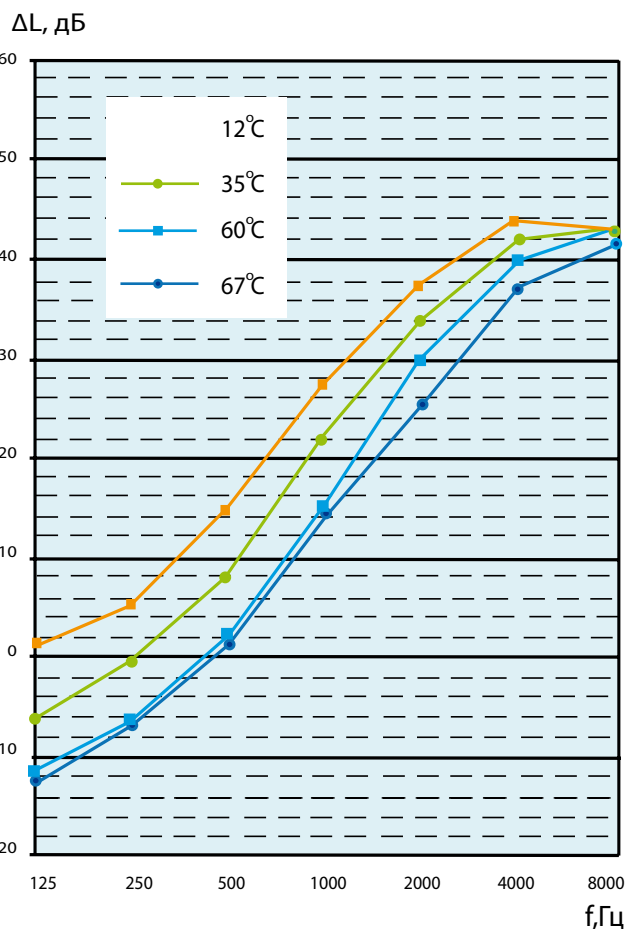


Рис. 6. Эффективность многослойного покрытия на трубу диаметром 200 мм при понижении температуры

бинированных) покрытий из материалов на основе модифицированного синтетического каучука демонстрирует рис. 6. Покрытие включает: «K-Flex ST» (25 мм), 2 слоя «K-FONIK240» (25+25мм), 3 слоя «K-FONIK GK» (2+2+2 мм), «K-Flex ST» (25 мм), «K-FONIK GK» (2 мм), 2 слоя покрытия «K-Flex INCLAD». Температура комбинированного слоя понижалась с +12°C до -60°C.

Как видно на рис. 6, звукоизолирующие свойства комбинированного покрытия на трубу диаметром 200 мм с увеличением частоты снижаются в широком диапазоне частот.

В заключение уместно подчеркнуть, что изменение акустической эффективности эластомерного покрытия при изменении температуры – весьма сложный процесс, зависящий от разных деформационных изменений и состояний эластомера, определяемых температурой. При нагревании релаксационные изменения резко возрастают и суммарная деформация зависит как от упругих, так и релаксационных свойств. В процессе охлаждения деформации сокращаются или вовсе отсутствуют. В этом случае релаксационные изменения определяются только упругостью.

Акустические характеристики покрытий на основе эластомеров зависят от скорости распространения в них продольных звуковых волн, которые в свою очередь определяются упругими свойствами материалов: плотностью, вязкостью, пластичностью, структурной неоднородностью. Звуковая энергия при распространении звуковых волн в изолирующих слоях покрытия расходуется на механические потери.



Список литературы

1. Гусев В.П., Леденев В.И., Лешко М.Ю. Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления // *Справочное пособие под редакцией И.Л. Шубина*. М. НИИСФ РААСН, 2013. 80 с.
2. Гусев В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем // *АВОК*. 2012. № 2. С. 38–42; № 3. С. 38–43.
3. Гусев В.П., Леденев В.И. Оценка шумового воздействия на окружающую среду вентиляционного оборудования, установленного на открытых площадках // *АВОК*. 2014. № 3. С. 70–74.
4. Гусев В.П. Оценка звуковой мощности оборудования в вентиляционных камерах // *АВОК*. 2009. № 3. С. 32–39.
5. Гусев В.П., Сидорина А.В. Расчет и проектирование защиты от шума транзитных воздуховодов систем ОВК // *АВОК*. 2013. № 2. С. 94–100.
6. Гусев В.П., Сидорина А.В. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 37–39.
7. Гусев В.П., Лешко М.Ю., Сидорина А.В. Защита от воздушного шума элементов систем вентиляции и кондиционирования воздуха // *Труды конференции – IV академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики: энергосбережение, надежность, экологическая безопасность», посвященных памяти Г.Л. Осипова* (г. Москва, МГСУ, 3–5 июля, 2012г.).
8. Терехов А.Л. Исследование и снижение шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов. М.: ИРЦ Газпром. 2002. 305 с.

References

1. Gusev V.P., Ledenev V.I. M.J. Leshko Calculation and design of sound air sepaly ,conditioning and air heating systems. *Reference book edited by I. L. Shubin*. M: NIISF RAASN, 2013, 80 p.
2. Gusev, V.P. From the experience of noise control engineering systems equipment. *AVOK*, 2012. No. 2, pp. 38–42, No. 3, pp. 38–43. (In Russian).
3. Gusev, V.P., Ledenyov V. I. Assessment of noise impact on the environment ventilation equipment installed in outdoor areas. *AVOK*. 2014. No. 3, pp. 70–74. (In Russian).
4. Gusev V.P. Evaluation of the sound power of equipment in plenums. *AVOK*. 2009. No. 3, pp. 32–39. (In Russian).
5. Gusev, V.P., Sidorina A.V. The Calculation and design of noise protection transit air ducts of HVAC systems. *AVOK*. 2013. No. 2, pp. 94–100. (In Russian).
6. Gusev, V.P., Sidorin A.V. Noise Insulation of air ducts of ventilation systems coatings using elastomeric and fibrous materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2013. No. 6, pp. 37–39.
7. Gusev, V.P., Leshko M.J., Sidorina A.V. Protection from aircraft noise elements of ventilation systems and air conditioning. *Proceedings of the conference - IV academic readings "Topical issues of building physics: energy saving, reliability, environmental safety" dedicated to the memory of G.L. Osipov*. Moscow, MGSU, July 3–5 2012.
8. Terekhov, A.L., Study and reduction of noise at compressor stations of main gas pipelines. M. "IRC Gazprom". 2002 305 p.

НОВОСТИ

Новый ГОСТ на силикатные изделия вводится в действие

В соответствии с приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) №246-СТ от 9.04.2015 г. «О введении в действие межгосударственного стандарта» с 1 октября 2015 г. вводится в действие ГОСТ 379–2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия» взамен ГОСТ 379–95. На этом завершился один из первых, но очень значимых этапов кропотливой и упорной работы НП «Ассоциация производителей силикатных изделий» (АПСИ) по разработке новых нормативных документов для производства и применения силикатных изделий.

ГОСТ 379–95 «Кирпич и камни силикатные» уже давно не отражал изменений, произошедших в силикатной отрасли. За рамками его компетенции оставался широкий спектр материалов, которые выпускались многими предприятиями по ТУ.

19 мая в Нижнем Новгороде состоялась презентация нового ГОСТа, для участия в которой собрались представители заводов силикатного кирпича из различных регионов России – Нижегородской, Тюменской, Свердловской, Пензенской областей, Краснодарского края, Твери и др. По сути, подчеркнул председатель правления НП АПСИ Н.В. Сомов, это новый документ,

соответствующий текущему уровню технологии производства силикатных изделий. Новый ГОСТ учитывает существующую тенденцию к расширению номенклатурного ряда изделий, их типоразмеров, прочностных характеристик и долговечности. В стандарте отражены основные требования к кладочным материалам актуализированных редакций СП 15.13330.2012 СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции», СП 70.13330 2012 СНиП 3.01–85 «Несущие и ограждающие конструкции. Правила производства работ». Участники технической группы АПСИ по разработке нового стандарта – канд. техн. наук М.В. Корнев (ООО «Силикатстрой», Нижегородская обл.) и канд. техн. наук И.Г. Иванов (ОАО «Павловский завод», Ленинградская обл.) подробно прокомментировали все изменения, внесенные в обновленную версию, и ответили на вопросы.

