



УДК 534.21:628.517.2

А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры и градостроительства¹, вед. науч. сотр.²; **В. П. ГУСЕВ**², д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; **О. А. ЖОГОЛЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог¹, науч. сотр.²; **Е. О. СОЛОМАТИН**¹, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИМИ ОБЛИЦОВКАМИ В КРУПНОГАБАРИТНЫХ КАНАЛАХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СИСТЕМ

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad@mail.tambov.ru

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21; тел.: (495) 482-40-16

Ключевые слова: шум газозвоздушных систем, крупногабаритные газозвоздушные каналы, звукопоглощающие облицовки, снижение шума звукопоглощением.

Рассматриваются методики оценки снижения шума в газозвоздушных системах гражданских зданий и промышленных предприятий звукопоглощающими облицовками, устанавливаемыми в местах разветвлений каналов системы. Показано, что использование методики, приведенной в СП 271.1325800.2016, не обеспечивает требуемой точности при определении акустической эффективности звукопоглощающих облицовок, размещаемых в крупногабаритных газозвоздушных каналах. Для более надежной оценки эффективности звукопоглощающих облицовок предложено использовать компьютерную методику, реализующую метод расчета распространения шума в крупногабаритных каналах при зеркально-диффузном отражении звука от внутренних поверхностей канала.

Шум, возникающий в воздуховодах вентиляционных систем гражданских и промышленных зданий и в каналах газозвоздушных систем промышленных предприятий, создает внутри зданий и на прилегающих к предприятиям территориях дискомфортные по фактору шумности условия [1–4]. По этой причине требуется разработка мероприятий по снижению шума, распространяющегося внутри воздуховодов и каналов. Одной из основных мер в этом случае является устройство трубчатых глушителей, представляющих собой вставки в воздуховоды и каналы участков труб с поглощающими звук стенками. Прозрачное для звука внутреннее покрытие глушителя, например, перфорированный металлический лист, обеспечивает сохранение формы канала и защиту от механических повреждений и выдувания воздушным потоком звукопоглощающего материала. Как показывают ранее выполненные исследования эффективности таких глушителей, применение их целесообразно в каналах с линейными или диаметрными размерами не более 500 мм [5, 6, 7].

В крупногабаритных каналах газозвоздушных систем в качестве подобных глушителей могут использоваться звукопоглощающие облицовки (ЗПО). Облицовки крепятся внутри канала к его стенкам и закрываются изнутри защитой от выдувания звукопоглощающих материалов (ЗПМ). В качестве ЗПМ могут применяться различные волокнистые материалы. В статье [6] рассмотрен один из наиболее приемлемых для этой цели звукопоглощающих материалов – маты из базальтового

супертонкого волокна объемной плотностью $12,6 \text{ кг/м}^3$. В качестве защитного покрытия ЗПМ в этом случае используется стеклоткань ЭЗ-100 в прозрачном для звука кожухе из оцинкованной стали толщиной $0,7\text{--}1,0 \text{ мм}$ с отверстиями 10 мм при перфорации в 20% [6].

Выбор конкретных ЗПМ должен производиться исходя из требуемого снижения уровней шума в расчетных точках помещений и на прилегающих к предприятиям территориях. Для этой цели в первую очередь необходимо производить оценку снижения шума в каналах после устройства в них ЗПО.

В современных протяженных воздушных системах, размещаемых в общественных зданиях и на промышленных предприятиях, имеется большое количество поворотов и разветвлений. На этих участках происходит снижение звуковой мощности и частичное изменение направлений звуковых потоков. Известно, что наибольшая акустическая эффективность снижения звуковой мощности в каналах достигается при расположении ЗПО на участках с поворотами и разветвлениями. Величина снижения в этом случае зависит от места размещения ЗПО, их размеров и коэффициентов звукопоглощения ЗПМ. Следовательно, при оценке акустической эффективности ЗПО необходимо использовать методики, учитывающие эти факторы.

В настоящее время для оценки снижения звуковой мощности в каналах за счет устройства ЗПО используется методика, приведенная в СП 271.1325800.2016 [8]. Анализ методики показывает, что в ней не в полной мере учитываются такие характеристики ЗПО как коэффициент звукопоглощения материала, длина участка ЗПО, ее конструктивное решение. Такой упрощенный подход к оценке эффективности ЗПО ранее был обоснован для каналов малых сечений. В крупногабаритных каналах с прямоугольными сечениями, у которых поперечные размеры стенок больше длин звуковых волн в широком диапазоне частот, при оценке эффективности ЗПО следует использовать методы расчета звуковых полей, основанные на положениях геометрической и статистической теорий акустики [9, 10]. Разработанные методы и реализующие их методики позволяют учесть размеры и место размещения ЗПО и их коэффициенты звукопоглощения [11].

Нормативная методика СП [8] и предложенные нами методы расчета позволяют выполнять оценку эффективности звуковой мощности ЗПО в каналах с поворотами и разветвлениями. В статье приведен сравнительный анализ результатов расчетов эффективности ЗПО в крупногабаритном канале с разветвлениями по нормативной методике и предлагаемыми методами.

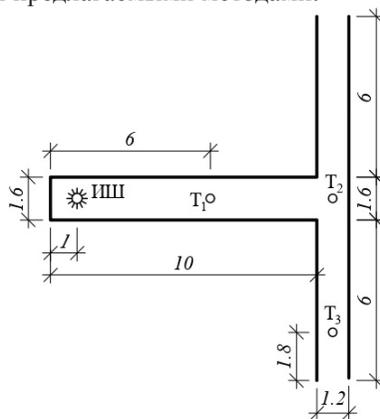


Рис. 1. Геометрическая схема участка канала: ИШ – источник шума; T_1 – T_3 – расчетные точки, размеры даны в м

Сравнительный анализ выполнен для крупногабаритного канала с разветвлением, геометрическая схема которого приведена на рис. 1. Сечение канала на участке до разветвления имеет размеры $1,6 \times 1,6$ м, а на разветвлениях – размеры сечения $1,2 \times 1,2$ м. Расчеты выполнены в точках T_1 , T_2 и T_3 для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Уровень акустической мощности источника шума (вентилятора) в данной октавной полосе равен 114 дБ.

Рассматривались варианты размещения ЗПО согласно схемам (рис. 2а, б и в). При этом длины облицованных участков принимались равными 2 м и 4 м.

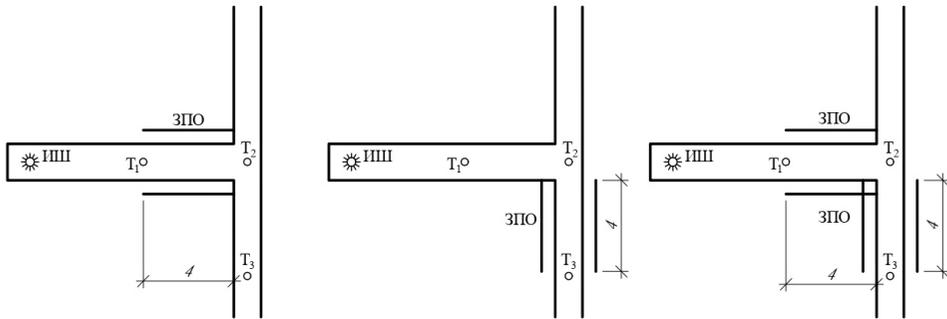


Рис. 2. Варианты размещения ЗПО при длинах облицовки 4 м

Облицовки во всех вариантах размещались согласно схемам (рис. 3а и б).

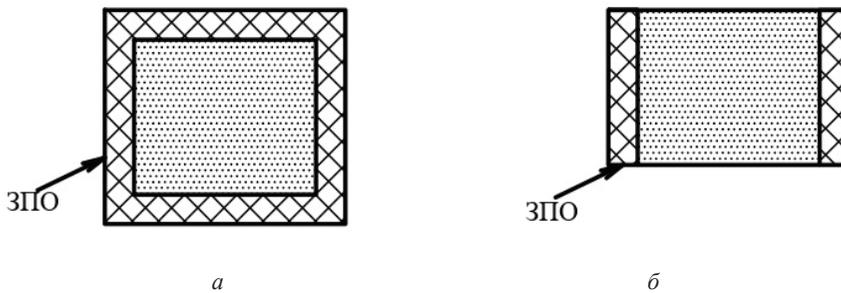


Рис. 3. Схемы размещения звукопоглощающей облицовки в поперечном сечении канала

При расчетах коэффициенты звукопоглощения облицовок принимались равными $\alpha = 0,3; 0,5; 0,8$.

Выбор положения расчетных точек обусловлен тем, что на данном участке канала снижение звуковой мощности происходит за счет изменения поперечного сечения канала, поворота воздушного потока, размещения ЗПО с различными геометрическими и акустическими параметрами до и/или после разветвления (см. рис. 2).

Согласно методике СП [8], суммарное снижение звуковой мощности между точками T_1 и T_3 определяется по выражению:

$$\Delta L_{\text{зв}} = \Delta L_{\text{впр}} + \Delta L_{\text{впов}} + \Delta L_{\text{враз}}, \quad (1)$$

где $\Delta L_{\text{впр}}$ – снижение звуковой мощности на прямых участках; $\Delta L_{\text{впов}}$ – то же на повороте; $\Delta L_{\text{враз}}$ – то же на разветвлении.

В данном случае составляющие выражения (1) равны:

$\Delta L_{\text{впр}} = 0,06 \times 9,0 = 0,5$ дБ. Здесь 0,06 дБ/м – погонное снижение мощности по



длине канала, принятое по табл. 7.1 СП [8]; 9,0 м – длина участка канала от T_1 до T_3 (см. рис. 1);

$\Delta L_{\text{нпов}} = 3; 8; 10; 16$ дБ. Значения определены по табл. 7.2 СП [3] для канала соответственно без ЗПО и при размещении в них ЗПО по схемам рис. 2а, б, в;

$\Delta L_{\text{нраз}} = 3,0$ дБ. Значение рассчитано по выражению (20) СП [8] в зависимости от соотношения площадей поперечных сечений каналов в месте разветвления.

Суммарное снижение звуковой мощности на участке от T_1 до T_2 в случае отсутствия ЗПО и при ее размещении по схемам рис. 2а, б, в, соответственно, составляет $\Delta L_{\text{ш}} = 6,5; 11,5; 13,5; 19,5$ дБ.

Как видно, при такой методике расчета не учитываются геометрические и акустические характеристики ЗПО. Видимо, при разработке методики использовались средние значения снижения звуковой мощности, полученные экспериментально в лабораторных условиях на каналах с геометрическими параметрами, как указано ранее, не превышающими 500 мм, и при определенных осредненных значениях коэффициентов звукопоглощения ЗПМ.

Для расчета снижения звуковой мощности с учетом перечисленных выше характеристик звукопоглощающих облицовок выбран метод расчета распространения шума в каналах при зеркально-диффузной модели отражения звука от их внутренних поверхностей [12, 13].

В этом случае расчет зеркально отраженной энергии производится методом прослеживания лучей, а диффузно рассеянной энергии – методами, разработанными на основе статистического подхода к расчету энергетических характеристик отраженных звуковых полей [13].

Для расчета шума в канале использована компьютерная программа, реализующая метод прослеживания лучей и численный статистический энергетический метод соответственно для определения зеркально и диффузно отраженной составляющих звукового поля [14].

Результаты расчетов уровней шума при различных местах расположения ЗПМ в канале, при различных длинах ЗПО, при различных коэффициентах звукопоглощения ЗПМ и при различном размещении ЗПО в поперечном сечении канала приведены в табл. 1. В табл. 1 также даны спады звуковой мощности между точками T_1 и T_3 , определенные по результатам компьютерных расчетов и по методике СП. *Заливкой серым цветом в табл. 1 выделены ячейки с расчетными данными, совпадающими с данными, полученными по методике СП.*

Результаты сравнения компьютерных расчетов с расчетами по методике СП показывают их совпадения только при частичной облицовке канала по схеме рис. 3б и при коэффициентах звукопоглощения ЗПМ не выше 0,5. Это свидетельствует о том, что методика СП слабо реагирует на объем размещаемого в сечение ЗПМ и на его звукопоглощающие характеристики. При этом следует отметить хорошее согласование результатов в случае отсутствия в канале ЗПО.



Таблица 1

Результаты расчетов уровней звуковой мощности и их спадов в крупногабаритном канале с разветвлением

| Размещение ЗПО в канале | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|-----------------|--------------------------|-------|-------|-----------------|--------------|
| По схемам <i>a, б, в</i> рис. 2 | по схеме <i>a</i> рис. 3 | | | | по схеме <i>б</i> рис. 3 | | | | расчет по СП |
| | Уровни мощности, дБ | | | ΔL , дБ | Уровни мощности, дБ | | | ΔL , дБ | |
| | T_1 | T_2 | T_3 | T_1-T_3 | T_1 | T_2 | T_3 | T_1-T_3 | T_1-T_3 |
| без ЗПО | 112,7 | 108,9 | 105,1 | 7,6 | 112,7 | 108,9 | 105,1 | 7,6 | 6,5 |
| Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,3, длина 4 м | | | | | | | | | |
| <i>a</i> | 111,9 | 102,0 | 96,8 | 15,1 | 112,2 | 106,4 | 100,7 | 11,5 | 11,5 |
| <i>б</i> | 112,6 | 109,2 | 95,9 | 16,7 | 112,7 | 108,9 | 100,2 | 12,5 | 13,5 |
| <i>в</i> | 112,0 | 101,9 | 84,9 | 27,1 | 112,1 | 106,7 | 92,3 | 19,8 | 19,5 |
| Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,5, длина 4 м | | | | | | | | | |
| <i>a</i> | 111,9 | 97,5 | 93,5 | 18,4 | 112,0 | 103,8 | 98,2 | 13,8 | 11,5 |
| <i>б</i> | 112,9 | 109,0 | 91,8 | 21,1 | 112,6 | 109,0 | 98,1 | 14,5 | 13,5 |
| <i>в</i> | 111,8 | 98,9 | 72,4 | 29,4 | 111,6 | 96,1 | 89,1 | 22,5 | 19,5 |
| Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,8, длина 4 м | | | | | | | | | |
| <i>a</i> | 111,6 | 96,1 | 89,1 | 22,5 | 112,0 | 100,9 | 96,1 | 15,9 | 11,5 |
| <i>б</i> | 112,5 | 109,4 | 90,5 | 22,0 | 112,4 | 109,2 | 96,5 | 15,9 | 13,5 |
| <i>в</i> | 117,1 | 94,9 | 45,6 | 66,1 | 111,6 | 101,3 | 58,4 | 53,2 | 19,5 |
| Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,3, длина 2 м | | | | | | | | | |
| <i>a</i> | 112,4 | 104,7 | 100,8 | 11,6 | 112,5 | 108,3 | 102,4 | 10,1 | 11,5 |
| <i>б</i> | 112,8 | 109,6 | 98,0 | 14,8 | 112,7 | 109,4 | 101,9 | 10,8 | 13,5 |
| <i>в</i> | 111,9 | 104,2 | 93,7 | 18,2 | 112,6 | 108,3 | 98,0 | 14,6 | 19,5 |
| Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,5, длина 2 м | | | | | | | | | |
| <i>a</i> | 112,0 | 103,8 | 99,0 | 13,0 | 112,5 | 107,2 | 101,9 | 10,6 | 11,5 |
| <i>б</i> | 112,7 | 109,1 | 95,7 | 17,0 | 112,8 | 109,6 | 100,6 | 12,2 | 13,5 |
| <i>в</i> | 112,1 | 103,3 | 87,0 | 25,1 | 112,7 | 107,3 | 93,8 | 18,9 | 19,5 |
| Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,8, длина 2 м | | | | | | | | | |
| <i>a</i> | 111,7 | 100,2 | 94,1 | 17,5 | 112,4 | 105,5 | 100,2 | 12,2 | 11,5 |
| <i>б</i> | 112,6 | 108,6 | 91,7 | 20,9 | 112,3 | 109,0 | 97,5 | 14,8 | 13,5 |
| <i>в</i> | 111,6 | 101,3 | 69,3 | 42,3 | 112,4 | 106,1 | 81,2 | 31,2 | 19,5 |

Сравнение вариантов устройства ЗПО по контуру канала или только на вертикальных поверхностях (см. схемы рис. 3*a, б*), показало изменение эффективности облицовки в большинстве случаев на 3–8 дБ. Это увеличение эффективности связано с удвоением площади ЗПО. Аналогичное изменение спада мощности наблюдается при удвоении длины облицованной поверхности каналов с 2 до 4 м. При этом следует отметить резкое изменение эффективности облицовки на участке между точками $T_1 - T_3$ в зависимости от площади ЗПО при одновременном ее размещении до и после разветвления, и особенно при высоких коэффициен-



тах звукопоглощения ЗПМ. Высокий спад в этом случае объясняется изменением структуры звукового поля на участке канала между точками $T_1 - T_2$. Из-за высокой степени звукопоглощения в точку T_2 приходят звуковые волны, распространяющиеся преимущественно вдоль оси воздуховода. После резкого поворота на пути к точке T_3 эти волны распространяются уже поперек сечения канала и, соответственно, быстро затухают на участке ЗПО, размещенной после разветвления. Это и приводит к резкому спаду звуковой мощности.

В целом результаты выполненных исследований показали, что использование для оценки распространения шума в крупногабаритных каналах методики, предложенной в СП 21.1325800.2016, может приводить к значительным погрешностям при определении спадов уровней мощности в крупногабаритных воздуховодах при наличии звукопоглощающих облицовок. Для более точной оценки распределения энергии и надежного проектирования средств снижения шума в таких каналах следует использовать методы расчета распространения звуковой энергии, объективно учитывающие геометрические и акустические параметры каналов, размеры и места размещения звукопоглощающих облицовок и их акустические характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев, В. П. Проектирование оптимальной защиты от шумового воздействия систем ОВК в административных зданиях предприятий текстильной и легкой промышленности / В. П. Гусев, В. И. Леденев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 4 (364). – С. 146–152.
2. Расчет шума газовоздушных систем ТЭЦ при оценке их шумового воздействия на застройку / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2019. – № 7. – С. 47–51.
3. Защита жилой застройки от шума расширенной по мощности ТЭЦ Москвы / В. П. Гусев, А. В. Сидорина, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. Текст : непосредственный // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 6 (1042). – С. 10–12.
4. Оценка шумового воздействия развитой по мощности ТЭЦ на жилую застройку / В. П. Гусев, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2 (34). – С. 123–137.
5. Гусев, В. П. Акустические характеристики абсорбционных глушителей для защиты зданий и территорий застройки от вентиляционного шума. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 3. – С. 53–59.
6. Шароглазов, В. С. Глушители шума для систем вентиляции / В. С. Шароглазов. – Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 10. – С. 50–53.
7. Использование эластомеров в качестве звукопоглощающих материалов в глушителях шума вентиляционных систем / М. Ю. Лешко, А. В. Сидорина, А. В. Варгасов, П. А. Кошечев. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2020. – № 6. – С. 50–53.
8. СП 271.1325800.2016 Системы шумоглушения воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 959/пр : дата введения 17 июня 2017 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050589>. – Текст : электронный.
9. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 52–54.
10. Гусев, В. П. Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных



газовоздушных каналах / В. П. Гусев, В. И. Леденев. – Текст : непосредственный // Защита от повышенного шума и вибрации : сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под редакцией Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 335–341. – ISBN 978-5-6042448-7-6.

11. Методика расчета и проектирования звукоизоляции крупногабаритных воздухопроводов вентиляционных систем / В. П. Гусев, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 10 (1034). – С. 40–41.

12. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва-Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 274 с. – Текст : непосредственный.

13. Giyasov, B. I. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound / B. I. Giyasov, V. I. Ledenyov, I. V. Matveeva // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – № 1 (77). – С. 13–22.

14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019614160, 01.04.2019. Расчет звуковых полей в крупногабаритных воздуховодах и на прилегающей территории : № 2019612536 : заявл. 12.03.2019 / А. И. Антонов, В. И. Леденев, О. А. Жоголева, В. П. Гусев. – Текст : непосредственный.

ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of architecture and urban planning¹, leading researcher²; GUSEV Vladimir Petrovich², doctor of technical sciences, leading researcher; ZHOGOLEVA Olga Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads¹, researcher²; SOLOMATIN Evgeny Olegovich¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF NOISE REDUCTION BY SOUND-ABSORBING LININGS IN LARGE-SCALE CHANNELS OF BRANCHED GAS-AIR SYSTEMS

¹Tambov State Technical University

112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia. Tel.: +7 (4752) 63-09-20, +7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru

²Research Institute of Building Physics RAASN

21, Lokomotivny Dr., Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-16

Key words: noise of gas-air systems, large-sized gas-air ducts, sound-absorbing linings, noise reduction by sound absorption.

The article considers methods of assessing noise reduction in gas-air systems of civil buildings and industrial enterprises by sound-absorbing cladding installed in the places of the system channels branching. It is shown that the use of the methodology given in SP 271.1325800.2016 does not provide the required accuracy in determining the acoustic efficiency of sound-absorbing linings placed in large-sized gas-air channels. For a more reliable assessment of the effectiveness of sound-absorbing linings, it is proposed to use a computer technique that implements a method of calculating the propagation of noise in large-sized channels with mirror-diffuse reflection of sound from the inner surfaces of the channel.

REFERENCES

1. Gusev V. P., Ledenyov V. I. Proektirovanie optimalnoy zaschity ot shumovogo vozdeystviya sistem OVK v administrativnykh zdaniyakh predpriyatiy tekstilnoy i lyogkoy promyshlennosti [Designing optimal protection against noise exposure of HVAC systems in



administrative buildings of textile and light industry enterprises] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti* [News of higher educational institutions. Technology of the textile industry]. 2016. № 4 (364). P. 146–152.

2. Gusev V. P., Zhogoleva O. A., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Raschyot shuma gazovozdushnykh sistem TETs pri otsenke ikh shumovogo vozdeystviya na zastroyku [Calculation of the noise of gas-air systems of thermal power plants in assessing their noise impact on the building] // *Zhilischnoe stroitelstvo* [Housing construction]. 2019. № 7. P. 47–51.

3. Gusev V. P., Sidorina A. V., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Zashita zhiloy zastroyki ot shuma rasshirennoy po moschnosti TETs Moskvy [Protection of residential buildings from the noise of the expanded power CHPP of Moscow] // *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [BCE: Bulletin of construction equipment]. 2021. № 6 (1042). P. 10–12.

4. Gusev V. P., Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Otsenka shumovogo vozdeystviya razvitoy po moschnosti TETs na zhiluyu zastroyku [Evaluation of the noise impact of a thermal power plant developed in terms of power on a residential building] // *Biosfernaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii* [Biospheric compatibility: man, region, technologies]. 2021. № 2 (34). P. 123–137.

5. Gusev V. P. Akusticheskie kharakteristiki absorbtionnykh glushiteley dlya zashity zdaniy i territoriy zastroyki ot ventilyatsionnogo shuma [Acoustic characteristics of absorption mufflers for protection of buildings and building territories from ventilation noise] // *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti* [Security of life]. 2003. № 3. P. 53–59.

6. Sharoglazov V. S. Glushiteli shuma dlya sistem ventilyatsii [Silencers for ventilation systems] // *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Safety of labor in industry]. 2008. № 10. P. 50–53.

7. Leshko M. Yu., Sidorina A. V., Vargasov A. V., Koscheev P. A. Ispolzovanie elastomerov v kachestve zvukopogloschayuschikh materialov v glushitelyakh shuma ventilyatsionnykh sistem [The use of elastomers as sound-absorbing materials in noise suppressors of ventilation systems] // *Stroitelnye materialy* [Building materials]. 2020. № 6. P. 50–53.

8. SP 271.1325800.2016 Sistemy shumoglusheniya vozdushnogo otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh [Noise suppression systems for air heating, ventilation and air conditioning] : utverzh. prikazom Min-va stroitel. i zhilishno-kommun. khoz-va RF ot 16 dekabrya 2016 g. № 959/pr : data vvved. 17 iyunya 2017 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050589>.

9. Gusev V. P., Zhogoleva O. A., Ledenyov V. I., Solomatin E. O. Metod otsenki rasprostraneniya shuma po vozdushnym kanalamsistem otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya [Method for assessing noise propagation through air channels of heating, ventilation and air conditioning systems] // *Zhilischnoe stroitelstvo* [Housing construction]. 2012. № 6. P. 52–54.

10. Gusev V. P., Ledenyov V. I. Kombinirovanny metod raschyota urovney shuma v krupnogabaritnykh gazovozdushnykh kanalakh [Combined method for calculating noise levels in large-sized gas-air channels] // *Zashita ot povyshennogo shuma i vibratsii. Sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Protection against increased noise and vibration. Collection of reports of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, 2013. P. 335–341. – ISBN 978-5-6042448-7-6.

11. Gusev V. P., Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Metodika raschyota i proektirovaniya zvukoizolyatsii krupnogabaritnykh vozdukhovodov ventilyatsionnykh sistem [Methods of calculation and design of sound insulation of large-sized air ducts of ventilation systems] // *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [BCE: Bulletin of construction equipment]. 2020. № 10 (1034). P. 40–41.

12. Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty shuma pri proektirovanii shumozashity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Calculations of noise when designing noise protection in industrial buildings] // *Moscow-Berlin : Direkt-Media*, 2020. – 274 p.

13. Giyasov B. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound [Method for noise calculation under specular and diffuse



reflection of sound] // Magazine of Civil Engineering [Magazine of Civil Engineering]. 2018. № 1 (77). P. 13–22.

14. Antonov A. I., Ledenyov V. I., Zhogoleva O. A., Gusev V. P. Raschyot zvukovykh poley v krupnogabaritnykh vozdukhovodakh i na prilegayushey territorii [Calculation of sound fields in large-sized air ducts and on the adjacent territory] // Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2019614160, 01.04.2019. Zayavka № 2019612536 ot 12.03.2019.

© А. И. Антонов, В. П. Гусев, О. А. Жоголева, Е. О. Соломатин, 2022

Получено: 30.03.2022 г.

УДК 624.072.2 (470.341-25)

Б. Б. ЛАМПСИ, канд. техн. наук, доц., зав кафедрой теории сооружений и технической механики; **Б. Б. ЛАМПСИ**, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **Ю. Д. МАРКИНА**, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики

УСИЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: lampsi@yandex.ru, boris-lampsi@yandex.ru, poluektoff@bk.ru

Ключевые слова: подкрановая балка, предельные состояния, рабочие напряжения.

Рассмотрены варианты возможных усилений разрезных стальных подкрановых балок пролетом 6 и 12 метров в корпусе действующего промышленного предприятия в Нижнем Новгороде в связи с заменой кранового оборудования с 10 тс на 50 тс. Учитывая стесненные условия, обусловленные существующим технологическим процессом, разработаны проектные решения по усилению двух типов подкрановых балок с расчетным обоснованием всех принятых конструктивных решений, отвечающих требованиям действующих СП. Предложенные варианты усиления полностью реализованы в соответствии с разработанной проектной документацией и эксплуатируются под новыми технологическими нагрузками с 2020 года.

Необходимость в проведении усиления эксплуатируемых подкрановых балок действующих промышленных предприятий может быть вызвано различными факторами. Во многих случаях это связано с появлением и накоплением в конструкции недопустимых повреждений коррозионного, механического или усталостного характера. Чаще всего такие повреждения устраняются локальным усилением и не затрагивают принципиального изменения конструктивной схемы подкрановых балок [1, 2].

Необходимость в более серьезных усилениях связана с резкими изменениями технологического процесса, в частности с его модернизацией, требующей, например, применения более грузоподъемного кранового оборудования. Несомненно, что решение задачи в этом случае может быть выполнено кардинально путем замены существующих подкрановых балок новыми, спроектированными под новую технологическую нагрузку. В этом случае само понятие «усиление» достаточно