

УДК: 62-784.3
OECD: 01.03.AA

Исследование возможности применения термочехлов для снижения уровня шума от оборудования

Бужинский К.В.^{1*}, Фиев К.П.², Шашурин А.Е.³, Лубянченко А.А.⁴
^{1,2} Аспирант, ⁴ К.т.н., старший преподаватель
³ Д.т.н., профессор, декан факультета «Оружие и системы вооружения»
^{1,2,3,4} Кафедра «Экология и производственная безопасность», Балтийский
государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Рассмотрены основные вредные и опасные факторы производственной среды и производственного процесса. Проанализированы основные существующие средства защиты работников производственных предприятий от повышенного шума, выявлены их недостатки. Предложено рассмотреть конструкции термочехлов, применяемых в основном для теплоизоляции трубопроводов и запорной арматуры, в качестве акустических средств защиты, проанализированы источники информации на подобную тематику. Приведены результаты исследования звукоизоляции термочехла определённой конструкции, подтверждающие его акустическую эффективность. Выдвинуты предложения по дальнейшим исследованиям и применению подобных конструкций в качестве акустических средств защиты от шума на рабочих местах и у других нормируемых объектов.

Ключевые слова: акустическое загрязнение, термочехлы, шумозащита, рабочие места.

Research into the feasibility of applying thermal covers to reduce the machinery noise

Buzhinskiy K.V.^{1*}, Fiev K.P.², Shashurin A.E.³, Lubianchenko A.A.⁴
^{1,2} Post-graduate student, ⁴ PhD, senior lecturer
³ DSc, professor, dean of the Weapons and Weapons Systems faculty
^{1,2,3,4} The department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University
'VOENMEH' named after D. F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

Abstract

The key harmful and dangerous factors of the production environment and manufacturing process are considered. The main existing means of protecting employees of industrial enterprises from excessive noise are analyzed, and their shortcomings are identified. It is proposed to consider the design of thermal covers used mainly for thermal insulation of pipelines and shut-off valves, as acoustic means of protection; the sources of information on such topics are analyzed. The findings of the study of sound insulation of a thermal cover of a certain design are presented, justifying its acoustic efficiency. Proposals are put forward for further research and application of such structures as acoustic means of noise protection in the workplace and in other normalized facilities.

Keywords: acoustic pollution, thermal covers, noise protection, workplaces.

Введение

С принятием Государственной Думой Федерального закона "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ со стороны работодателей увеличился спрос на проектирование и реализацию мероприятий, направленных на улучшение условий труда работников производственных предприятий.

Перечень исследований и измерений, проводимых в ходе специальной оценки труда, чётко определён законом, одно из важных мест занимают исследования параметров микроклимата, шума и вибрации – физических факторов производственной среды, которые косвенно или напрямую влияют на тяжесть и напряжённость трудового процесса. Выяснено, что для выполнения различных трудовых функций приемлемы различные уровни шума (от 40 до 80 дБА для различных профессий) [2], которые обеспечиваются за счёт применения шумобезопасных машин и акустических средств защиты (индивидуальных или коллективных).

Индивидуальные средства защиты экономически привлекательнее для работодателей, однако при их применении для отдельных категорий рабочих (например, операторов производственных конвейеров или водителей штабелёров), а также в силу индивидуальных физических особенностей рабочих, могут снижаться работоспособность и безопасность труда (за счёт ограничения двигательных функций, обзорности, слуха и пр.).

Основными применяемыми коллективными средствами защиты от шума для производственных предприятий с устоявшимися технологическими процессами на данный момент являются средства, снижающие воздушный шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта (звукоизолирующие кожухи, кабины, шумозащитные экраны) [4]. На практике при обработке запросов на проектирование шумозащитных мероприятий подобные средства защиты оказываются труднореализуемы в виду ограничений, связанных с технологическими процессами производства, стеснённой условиями производственных цехов, пожарной безопасностью и эксплуатационными свойствами оборудования. Ввиду накладываемых ограничений, кожухи и шумозащитные экраны в привычном нам виде неохотно принимаются потребителями, а реализация подобных мероприятий в конечном счёте может привести к доработке имеющихся систем пожарной безопасности, видеонаблюдения, вентиляции и электрического освещения.

Альтернативными и эффективными шумозащитными средствами в подобных случаях могут послужить средства, снижающие шум в источнике его возникновения [5]. К таким средствам может относиться увеличение звукоизоляции корпуса (увеличение его поверхностной массы, перекрытие технологических зазоров, снижение структурного шума) [6]:

- покрытия на основе битума;
- металлические облицовки;
- различные резинотехнические и каучуковые изделия;
- многослойные конструкции с применением звукопоглощающих материалов

и др.

Основными недостатками всех облицовок являются плохая ремонтпригодность и отсутствие доступа к частям корпуса, нуждающимся в постоянном контроле (несъёмность).

Данные недостатки можно исключить при применении съёмной облицовки, которая в смонтированном состоянии плотно прилегает к частям корпуса оборудования, а материал, из которого она изготовлена, прочен, но лёгок в обработке. Подобным критериям отвечают конструкции, применяемые в теплоизоляции, а именно термочехлы.

Термочехлы выполнены таким образом, что теоретически можно предположить наличие у них звукоизоляционных свойств для применения их в качестве акустических средств защиты. Однако при изучении информации, предоставленной производителями в открытом доступе в сети Интернет, упоминаний о звукоизоляционных свойствах чехлов либо нет, либо они не подтверждены теоретически (отсутствуют данные о специализированных сертификатах или протоколах исследований).

Термочехлы имеют многослойную конструкцию в виде прочной оболочки на основе стеклоткани с силиконовым или иным покрытием [7], внутри которой размещается пористый материал. Съёмные термочехлы проектируются индивидуально для оборудования с любыми формами и размерами корпуса, для больших размеров корпусов термочехлы поставляются отдельными модулями, скрепляемыми между собой внахлёт ремнями или липучками. Конструкция разреза термочехла может быть различной: различные по составу и толщине наполнители, оболочки разной плотности и покрытия и др. Все эти факторы теоретически влияют на акустические свойства конструкции.

Поиск производителей выполнялся в сети Интернет и показал, что термочехлы подобной конструкции производят такие компании, как ООО «ЕТС Корда» (г. Санкт-Петербург), ООО «Теплострой Новосибирск» (г. Новосибирск), ООО «ТИМ» (г. Санкт-Петербург), ООО «ЧЗКИ» (г. Челябинск), АО «Завод ЛИТ» (г. Переславль-Залесский) и др.

Для испытаний акустических свойств термочехлов специалистами ООО «ЕТС Корда» был спроектирован и изготовлен опытный образец. Испытания проводились специализированной исследовательской лабораторией ООО «Авеста», результаты испытаний были обработаны специалистами проектной организации ООО «Институт акустических конструкций» и кафедры Е5 «Экология и производственная безопасность» Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

1. Описание конструкции опытного образца термочехла и условий испытания

Опытный образец был спроектирован, как облицовка корпуса искусственного источника шума. Внешний вид искусственного источника шума приведён на рис. 1.



Рис. 1. Искусственный источник шума

Термочехол опытного образца полностью покрывает поверхности корпуса от пола до верхней крышки. В чехле выполнены отверстия для ручек источника, которые закрываются накладками внахлест. Состоит термочехол из трёх частей:

- правая полуцилиндрическая часть;
- левая полуцилиндрическая часть;
- защитная крышка технологического окна.

Части термочехла плотно скрепляются между собой ремнями и липучками.

Технологическое окно было спроектировано для преследования нескольких целей:

- доступ к элементам управления (тумблерам) источника;
- имитация несплошности чехла более 10% от площади поверхности при определённых запланированных видах испытаний.

Внешний вид термочехла, смонтированного на источник шума представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Опытный образец термочехла
(с открытым и закрытым технологическим окном)

Внешняя и внутренняя оболочка представляет собой стеклоткань с силиконовым покрытием (марка SC200). Группа горючести ткани Г1 (слабогорючий, не поддерживает самостоятельного горения), группа воспламенения В1 (трудновоспламеняемый, КППТП более 35 киловатт на квадратный метр), группа дымообразования Д1 (малая дымообразующая способность), группа токсичности Т1 (малоопасные). В качестве наполнителя опытного образца применён Холст из стекловолокна, изготовленный иглопробивным способом марки Glasscanvas AF-3500-25mm, группа горючести наполнителя НГ.

Допускаемая температура эксплуатации образца - 250°C, габаритные размеры - 0,7(Д)×0,8(Ш)×1,00(В), масса не более 50 кг (18-20 кг/кв.м покрытия).

Условия испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1
Условия испытаний

	Производственное помещение	Открытая площадка
Сведения об атмосферных условиях (температура и относительная влажность воздуха, атмосферное давление и т.д.)	Темп. +10 ⁰ С, влажность 70%	Темп. +5 ⁰ С, влажность 80% (без дождя)
Описание испытательного помещения (объем, размеры, приблизительное время реверберации, звукорассеивающие или экранирующие объекты)	Металлический ангар с потолком-аркой, высота потолков – до 8 м, ширина ангара – до 10 м, длина ангара – до 30 м.	Открытая площадка, окружённая ангарами, удалёнными на расстояние более 10 м.
Описание расположения объекта испытаний, источника шума и микрофонов	В соответствии со схемой, см. рис. 3	В соответствии со схемой, см. рис. 3
Описание конструкции опорной поверхности	Бетонный пол	Песчано-гравийное основание
Адрес испытаний и наименование организации, проводившей испытания	РФ, Ленинградская область, Ломоносовский район, Аннинское городское поселение, пос. Новоселье, промзона «КИНГ», ООО «Авеста»	
Наименование и адрес производителя опытного образца	РФ, г. Санкт-Петербург, ул.Розенштейна, д.21, оф.508, ГК Корда	
Дата проведения испытаний	17.01.2020г.	

Данные об оборудовании, применяемом для испытаний, приведены в таблице 2.

Таблица 2
Сведения о средствах испытаний

Средство измерения №1	Шумомер 1 класса точности (инв. №120124)
Средство измерения №2	Шумомер 1 класса точности (инв. №110096)
Средство измерения №3	Шумомер 1 класса точности (инв. №180519)

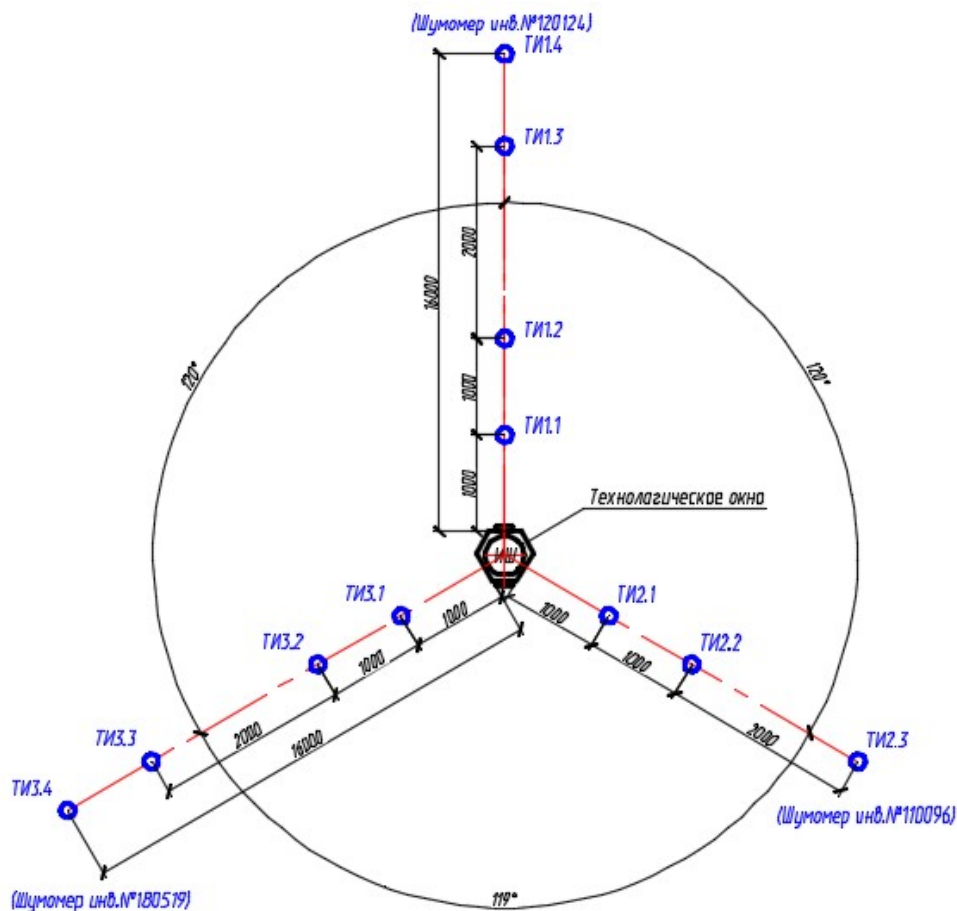


Рис. 3. Схема испытания

2. Испытания опытного образца

Опытный образец термочехла планировалось испытать в различных условиях максимально приближенным к условиям возможной эксплуатации:

- в замкнутом помещении производственного цеха (для возможности оценки влияния на рабочие места);
- на открытой уличной площадке (для возможности оценки влияния на жилую застройку).

Термочехол был спроектирован таким образом, чтобы можно было оценить его эффективность с точки зрения монтажных свойств [8]:

- с коэффициентом несплошности конструкции не превышающим 1%;
- с коэффициентом несплошности конструкции от 1 до 10%;
- с коэффициентом несплошности конструкции более 10%.

Измерения производились в трёх направлениях излучения шума, совпадающих с направлением колонок источника шума. Шумомеры Ш1 и Ш2 при испытании образца находились с двух сторон от технологического окна (отверстия в образце), при этом со стороны шумомера Ш2 находилось дополнительное отверстие под ручку источника. Шумомер Ш3 находился напротив стыка двух частей образца, при этом зазоров и несплошностей выявлено не было. Таким образом, ослабление звука от источника образцом в разных направлениях производилось не в равных долях.



Рис. 4. Подготовка испытаний в помещении производственного цеха



Рис. 5. Подготовка испытаний на открытой уличной площадке

2.1. Результаты испытаний в замкнутом помещении производственного цеха образца с коэффициентом несплошности от 1 до 10% и более 10%

На рисунках 6-8 приведены графики измерений уровней шума в различных конфигурациях термочехла (с различными коэффициентами несплошности).

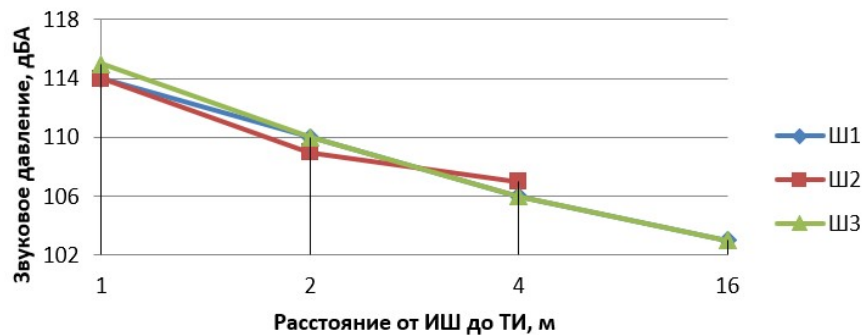


Рис. 6. Измерение уровней шума в точках без термочехла (открытый источник)

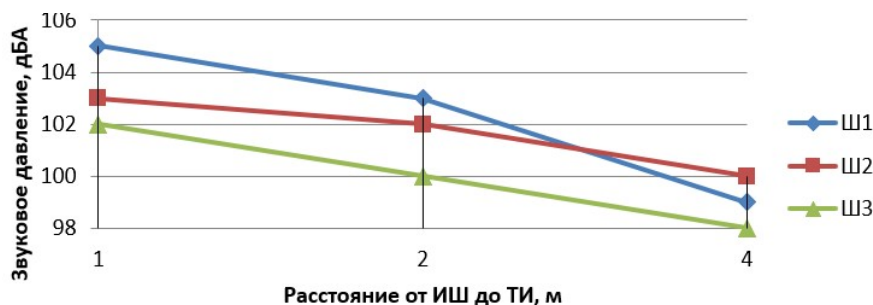


Рис. 7. Измерение уровней шума в точках с термочехлом с коэффициентом несплошности более 10%

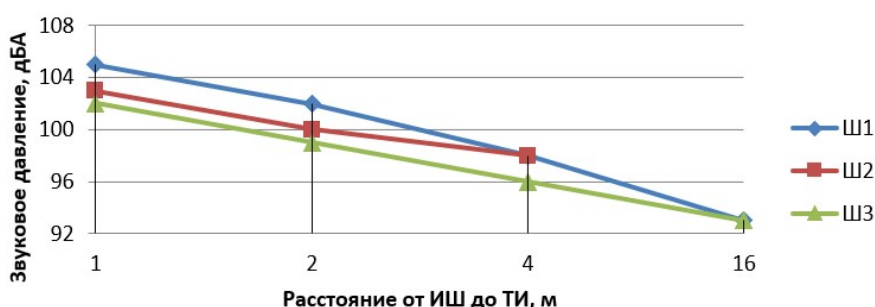


Рис. 8. Измерение уровней шума в точках с термочехлом с коэффициентом несплошности от 1 до 10% (технологическое окно перекрыто листом пенополистирола без требований к плотности перекрытия)

Таким образом, исходя из полученных значений, видно, что на эффективность чехла влияет его сплошность. Это влияние ослабевает с удалением от источника и на расстоянии 16 и более метров несплошность чехла менее 10% внутри помещения практически не влияет на результат.

Для выявления эффективности чехла внутри производственного помещения сравним результаты измерений шумомером ШЗ значений уровней звука от источника без чехла и с чехлом, анализ эффективности представлен на рисунке 9.

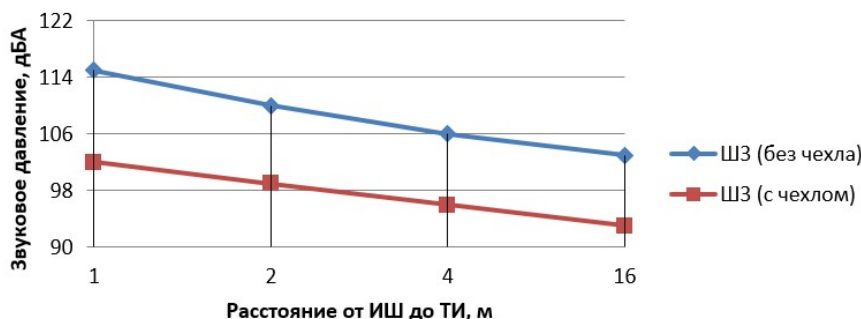


Рис. 9. Акустическая эффективность термочехла при испытании в производственном помещении

Сходимость двух графиков на рисунке 9 иллюстрирует эффективность чехла при использовании его в производственном помещении. Снижение уровней звука, которое характерно для обоих графиков, обусловлено ослаблением звука с увеличением расстояния.

2.2. Результаты испытаний на открытой уличной площадке образца с коэффициентом несплошности более 10%

На рисунках 10-11 приведены графики измерений уровней шума в различных конфигурациях термочехла (с различными коэффициентами несплошности).

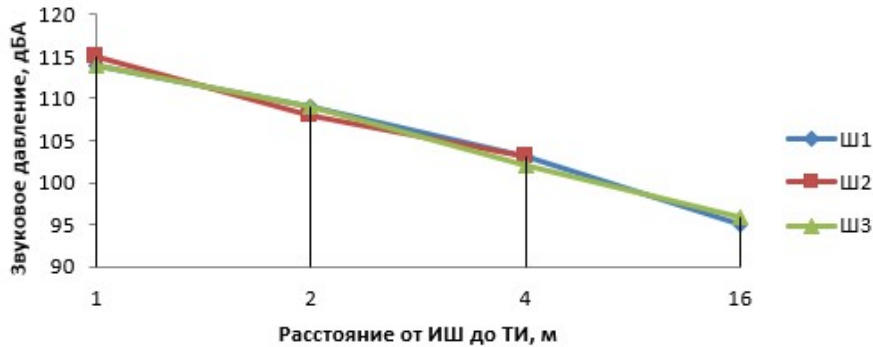


Рис. 10. Измерение уровней шума в точках без термочехла (открытый источник)

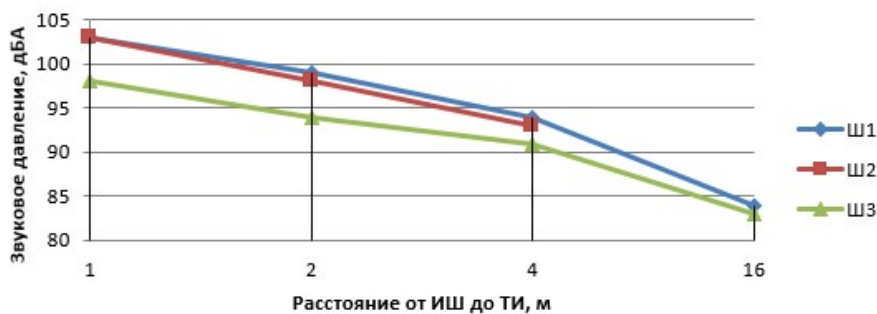


Рис. 11. Измерение уровней шума в точках с термочехлом с коэффициентом несплошности более 10%

При незакрытом источнике уровень шума во всех направлениях получился одинаковым (рис. 10), в то время как при закрытом источнике в различных направлениях уровень шума получился различным (рис. 11), но меньше, чем при незакрытом источнике, данный факт говорит о влиянии несплошности термочехла.

Для выявления эффективности чехла на открытой площадке сравним результаты измерений шумомером Ш1 значений уровней звука от источника без чехла и с чехлом, анализ эффективности представлен на рисунке 12. Сходимость двух графиков на рис.12 иллюстрирует эффективность чехла при использовании его в открытом пространстве. Снижение уровней звука, которое характерно для обоих графиков обусловлено ослаблением звука с увеличением расстояния.

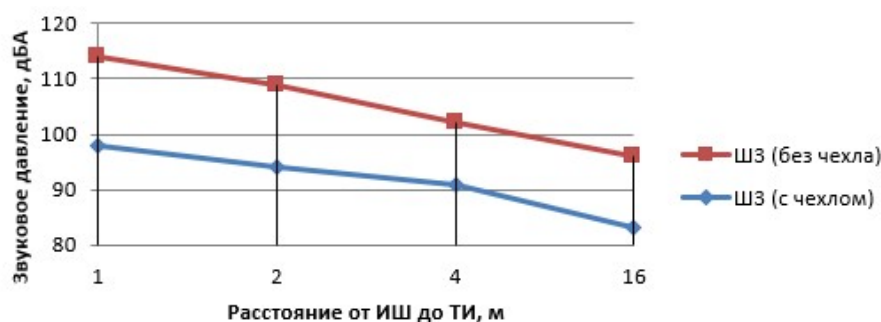


Рис. 12. Акустическая эффективность термочехла при испытании на открытой уличной площадке

2.3. Результаты испытаний на открытой уличной площадке образца с коэффициентом несплошности менее 1%

Предыдущими испытаниями было установлено, что на акустическую эффективность опытного образца при любых условиях эксплуатации влияет его несплошность. Испытания образца с минимальным (менее 1%) коэффициентом несплошности производились на открытой уличной площадке и в производственном помещении, для испытаний был задействован один шумомер, установленный напротив одной из колонок источника шума. Как и прежде измерение уровней шума проводилось в четырёх точках на разном удалении от источника. Данное испытание проводилось для определения эффективной звукоизоляции конструкции термочехла, на которую не влияет его несплошность.

На рисунках 13-15 приведены результаты испытания сплошного опытного образца.

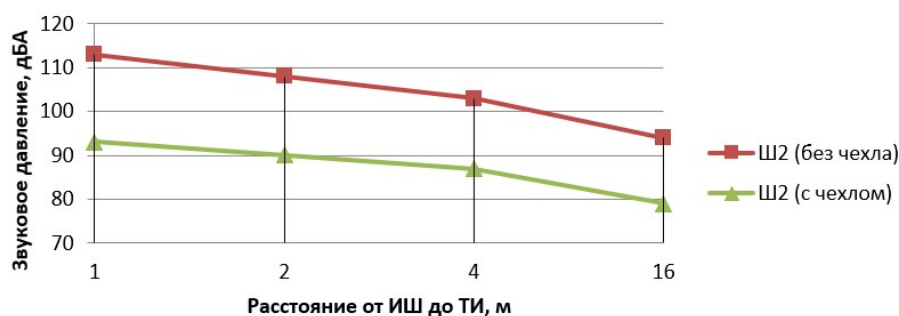


Рис. 13. Определение эффективности полностью закрытого чехла на открытой площадке

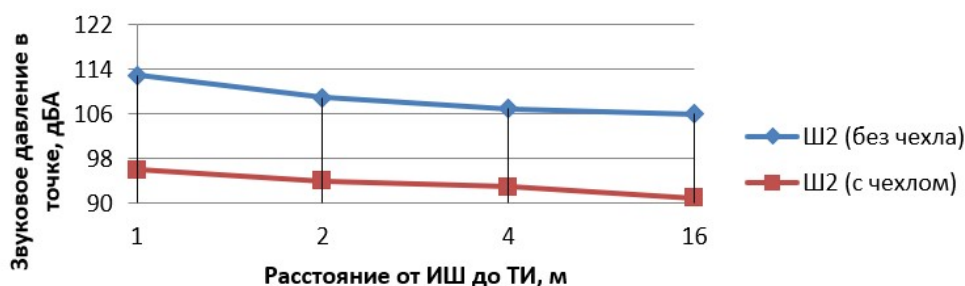


Рис. 14. Определение эффективности полностью закрытого чехла внутри помещения

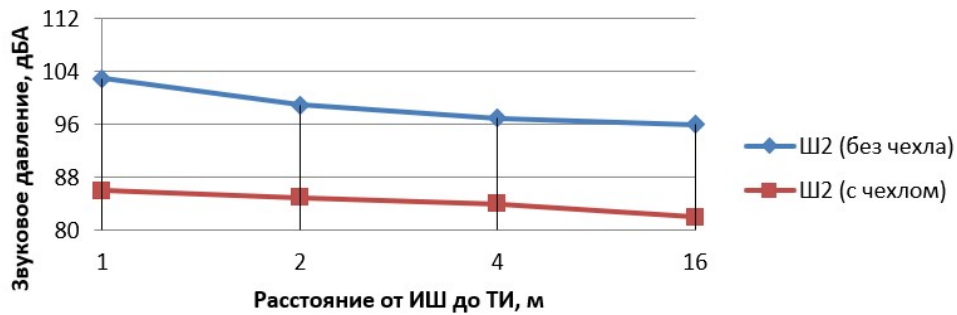


Рис. 15. Определение эффективности полностью закрытого чехла внутри помещения при пониженном уровне шума источника

Как видно из графиков образец показывал приблизительно равную эффективность в любых условиях, что говорит о его постоянной звукоизолирующей способности.

Ниже приведён график (см. рис. 16), где проиллюстрировано сравнение уровней звукового давления от источника в термочехле с несплошностями не более 10% и менее 1% при измерении на открытой площадке, где нет влияния на измерения переотражённых волн или они незначительны. Как видно из графика эффективность термочехла с коэффициентом несплошности менее 1% оказывается на порядок выше, более 4 дБА, при этом сходимость графиков подтверждает корректность проведённых измерений. Значение потери эффективности (до 5 дБА), полученное при испытании образца с несплошностью до 10%, подтверждено.

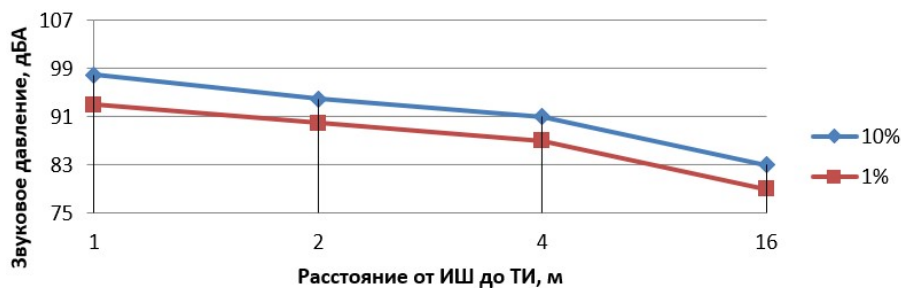


Рис. 16. Значения звукового давления при закрытии источника шума термочехлами с различными коэффициентами несплошности

Заключение

Эффективность термочехла установленного образца подтверждена при испытании его на открытой площадке, где влияние переотражённых волн минимально, а также минимально влияние несплошности образца (менее 1%), кроме того исключено ослабление звука при увеличении расстояния. Результаты эффективности в частотном диапазоне представлены в таблице 3 и на рисунке 17.

Таблица 3

Результаты измерения уровней шума в расчётных точках с использованием термочехла и без его использования

Номер точки	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука/эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ТИ2.1 (без чехла)	79	102	107	103	108	110	105	104	98	113
ТИ2.1 (с чехлом)	73	95	99	95	93	85	73	80	69	93
Эффективность образца	5	7	8	9	15	25	33	25	29	20

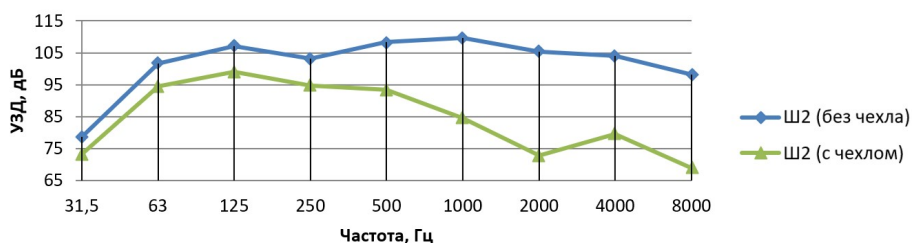


Рис. 17. Экспериментальная эффективность термочехла опытного образца в точке ТИ2.1

Полученные данные практически подтверждают теоретические предположения о наличии у термочехлов звукоизолирующих свойств, достаточных для их применения в качестве коллективных акустических средств защиты.

Многообразие конструкций термочехлов, связанных с возможностью применения различных материалов оболочек и наполнения, в том числе инновационных [9], наталкивает на дальнейшие исследования в данной области. Подобные гибкие конструкции возможно использовать в качестве альтернативы жёстким металлическим кожухам (удобство монтажа и безопасность при разрушении, например, при взрыве оборудования) или в качестве шумопоглощающих средств облицовки стен, эффективность подобных конструкций должна быть подтверждена теоретически и экспериментально. В совокупности с термоизоляционными свойствами чехлов данные конструкции возможно применять для решения целого спектра задач по охране труда на производстве.

Список литературы

1. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 №426-ФЗ.
2. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация.
4. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2013. – 432 с.

5. ГОСТ 27409-97 Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования. Основные положения.
6. Вибровозбудимость конструкций и пути её уменьшения: монография / В.Ю. Кирпичников; ФГУП «КГНЦ» - Спб., 2014 – 222 с.
7. Каталог ООО «Химпродукт» Стеклоткани с покрытием [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://www.chemproduct.ru/shop/goods/category/123/> (дата обращения 13.09.2020 г.)
8. ГОСТ 31326-2006 (ИСО 15667:2000) Шум. Руководство по снижению шума кожухами и кабинами.
9. Труды ВИАМ. «Новый отечественный тканеплёночный материал для гибких трубопроводов системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов» / М.С. Иванов, Е.А. Вешкин, Р.А. Сатдинов, И.Н. Донских - №4 (76) 2019, стр. 57-66,

References

1. Federal law No. 426-FZ of 28.12.2013 «On special assessment of working conditions».
2. GOST 12.1.003-83 «Occupational safety standards system. Noise. General safety requirements».
3. GOST 12.1.029-80 « Occupational safety standards system. Means and methods of defence from noise. Classification».
4. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: a tutorial / N. I. Ivanov – 3rd ed. Rev. and additional-M.: Logos, 2013. - 432 p.
5. GOST 27409-97 «Noise. Technical regulation of stationary equipment noise characteristics. General».
6. Vibration excitability of structures and ways to reduce it: monograph / V. Yu. Kirpichnikov; FSUE "KGNC" - St. Petersburg, 2014-222 p.
7. Catalog of LLC "Himprodukt" Fiberglass coated [electronic resource] - access Mode. – URL: <https://www.chemproduct.ru/shop/goods/category/123/> (accessed 13.09.2020 G.).
8. GOST 31326-2006 (ISO 15667:2000) «Noise. Guidelines for noise control by enclosures and cabins».
9. Proceedings of VIAM, "New omestic coated textile material for flexible air conditioning ducts of flight vehicles" / M. S. Ivanov, E. A. Veshkin, R. A. Satdinov, I. N. Donskih - No. 4 (76) 2019, pp. 57-66