

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «УПиЭБ»

(подпись) Л.Н. Горина
(И.О. Фамилия)

« 12 » июня 2017 г.

**ЗАДАНИЕ на
выполнение бакалаврской работы**

Студент Исаев Вадим Борисович

1. Тема Разработка экологических инновационных технических решений по снижению негативного шумового излучения, производимого энергетическими агрегатами и системами, на примере стационарной дизель-генераторной установки.

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 12.06.2017

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе типичные конструктивно технологические схемы шумогенерирующих технических помещений, используемые для обеспечения акустической безопасности окружающей среды от шумовых излучений шумогенерирующих технических объектов, расположенных в технических помещениях (производственные комплексы, жилые здания). Конструктивные материалы и технологии производства шумопоглощающих элементов технических помещений в отношении экологической пожарной безопасности.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Аннотация

Терминологические определения

Обозначения и сокращения

Введение

Глава 1. Анализ действующих нормативных требований, предъявляемых к дизель-генераторным установкам в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности

Глава 2. Аналитический информационный основных источников виброакустических излучений дизель-генераторных установок и используемых способов и технических устройств их уменьшения

Глава 3. Информационно-патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов

Глава 4. Инжиниринговая разработка инновационных конструктивных концептуальных схем эффективных технических устройств уменьшения шумовых излучений дизель-генераторной установки, смонтированной в техническом помещении закрытого типа

Глава 5. Методика экспериментального исследования звукопоглощающих свойств макетных образцов шумопоглощающих модулей предназначенных для футеровки

внутренних поверхностей стеновых ограждающих конструкций подстанции закрытого типа со смонтированной дизель-генераторной установкой

Глава 6. Охрана труда оператора дизель-генераторной установки

Глава 7. Экономический раздел

Заключение

Список использованной литературы

Приложения

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Фрагмент монтажа беззазорных звукопоглощающих модулей с перепускными каналами в техническом помещении
2. Фрагмент монтажа зазорных звукопоглощающих модулей с перепускными каналами в техническом помещении
3. Схема технического помещения
4. Фрагмент шумопоглощающего модуля
5. Звукоизолирующая зашивка технического помещения
6. Шумогенерирующее техническое помещение
7. Экспериментальные результаты измерения реверберационного коэффициента звукопоглощения макетных образцов неперфорированного и перфорированных пористых звукопоглощающих брикетов
8. Экспериментальные результаты измерения реверберационного коэффициента звукопоглощения макетных образцов неперфорированного и перфорированных пористых звукопоглощающих брикетов
9. Схема лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа»

6. Консультанты по разделам: нормоконтроль – Т.А. Варенцова

7. Дата выдачи задания «31» мая 2017 г.

Заказчик - завкафедрой «УПиЭБ»

Л.Н. Горина

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «УПиЭБ»

_____ Л.Н. Горина
(подпись) (И.О. Фамилия)

« 12 » июня 2017 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Студента Исаева Вадима Борисовича

по теме Разработка экологичных инновационных технических решений по снижению негативного шумового излучения, производимого энергетическими агрегатами и системами, на примере стационарной дизель-генераторной установки.

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Аннотация	29.04.17 – 29.05.17	29.04.17	Выполнено	
Терминологические определения	30.04.17 – 30.05.17	30.04.17	Выполнено	
Обозначения и сокращения	31.04.17 – 31.04.17	31.04.17	Выполнено	
Введение	01.05.17 – 01.05.17	01.05.17	Выполнено	
Глава 1. Анализ действующих нормативных требований, предъявляемых к дизель-генераторным установкам в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности	02.05.17 – 05.05.17	05.05.17	Выполнено	
Глава 2. Аналитический обзор основных источников виброакустических излучений дизель-генераторных установок и используемых	07.05.17 – 11.05.17	11.05.17	Выполнено	

способов и технических устройств их уменьшения				
Глава 3. Информационно-патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов	15.05.17- 18.05.17	18.05.17	Выполнено	
Глава 4. Критический анализ известных конструктивно-технологических приемов уменьшения акустических излучений в шумоактивных технических помещениях	19.05.17 – 25.05.17	25.05.17	Выполнено	
Глава 5. Методика экспериментального исследования звукопоглощающих свойств макетных образцов шумопоглощающих модулей предназначенных для футеровки внутренних поверхностей стеновых ограждающих конструкций подстанции закрытого типа со смонтированной дизель-генераторной установкой	26.05.17 – 30.05.17	30.05.17	Выполнено	
Глава 6. Охрана труда оператора дизель-генераторной установки	01.06.17 – 03.06.17	03.06.17	Выполнено	
Глава 7. Экономический раздел	04.06.17 – 05.06.17	05.06.17	Выполнено	
Заключение	06 .06.17 – 07. 06.17	07.06.17	Выполнено	
Список использованной литературы	08.06.17 – 09.06.17	09.06.17	Выполнено	
Приложения	09.06.17 – 10.06.17	10.06.17	Выполнено	

Руководитель выпускной
квалификационной работы

Задание принял к исполнению

(подпись)

(подпись)

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

В.Б. Исаев

(И.О. Фамилия)

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Звукопоглощение – явление необратимого перехода энергии, распространяемой в среде звуковой волны, в другие виды энергии, в частности, в тепло.

Перфорированные отверстия – несколько отверстий идентичной геометрической формы и площади, расположенных друг относительно друга и/или относительно другого конструктивного элемента детали (узла) на заданном расстоянии.

Звукопрозрачность – свойство конструкций пропускать звуковую волну без существенного ослабления. Количественно звукопрозрачность характеризуется коэффициентом прохождения звука.

Дифракция звука – отклонение поведения звука, обусловленное волновой природой звука, в частности, загибание звуковых волн в область звуковой тени позади огибаемого препятствия.

Утилизация – использование ресурсов не находящихся прямого применения по назначению вторичных ресурсов, отходов производства и потребления.

Рециклинг – возврат в промышленное производство многих материалов, которые содержатся в отходах промышленности, строительства и бытовой сферы.

Шумовые излучения – распространяющийся в воздушной среде шум, излучающий в окружающее пространство определенным источником (машиной, оборудованием).

Полимерные отходы – предметы или продукты, произведенные из пластмасс, которые частично или полностью утратили свои потребительские свойства и являются непригодными для дальнейшего использования, за исключением вторичной переработки.

Звукоизоляция – снижение уровня шума, проникающего в помещения извне. Количественная мера звукоизоляции ограждающих конструкций выражается в дБ.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

дБ – децибел

Гц – герц, единица частоты периодических процессов

L_p – уровень звукового давления

α_{rev} – реверберационный коэффициент звукопоглощения

$A_{эkv}$ – площадь эквивалентного звукопоглощения

α_r – реверберационный коэффициент звукопоглощения, усл.ед.

$S_{эл}$ – площадь проекции на лицевую поверхность несущей основы меньшей по площади из близлежащих обособленных звукопоглощающих модулей, закрепленных на ней

$h_{эл}$ – толщина обособленных звукопоглощающих модулей

d – диаметры отверстий перфорированной несущей конструкции звукоотражающих модулей

b – толщина поперечного сечения шумозащитного модуля

a – высота поглощающей части шумозащитного модуля

$K_{пер}$ – коэффициент перфорации

m – толщина тыльного звукоотражающего модуля

l – толщина лицевого звукопрозрачного модуля

g – воздушный зазор

ДГУ – дизель-генераторная установка

ЧС – чрезвычайная ситуация

СИЗ – средства индивидуальной защиты

АННОТАЦИЯ

В первой главе мы рассматриваем нормативные требования, предъявляемые к дизель-генераторной установке в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности, а также акустическую и пожарную безопасность установок и экологичность в отношении безопасной утилизации.

Во второй главе проводится информационный обзор источников виброакустических излучений дизель-генераторных установок и используемых способов и технических устройств их уменьшения.

В третьей главе мы проводим информационный патентный анализ известных способов рециклированной утилизации твердых полимерных отходов.

В четвертой главе мы разрабатываем конструктивные схемы эффективных технических устройств для уменьшения шумовых излучений дизель-генераторной установки в составе технического помещения закрытого типа.

В пятой главе приводится используемая нами методика исследований звукопоглощающих свойств дробленных акустических структур и макетных образцов шумопоглощающих модулей.

В шестой главе рассматривается охрана труда оператора дизель-генераторной установки.

В седьмой главе экономического раздела приводится расчет стоимости макетных образцов шумопоглощающих модулей и проведен сравнительный анализ экономической эффективности.

В заключении работы приводится результат эксперимента исследований звукопоглощающих свойств малогабаритных образцов дробленных фрагментов твердых пористых звукопоглощающих панелей.

ABSTRACT

In the first chapter we examine the regulatory requirements that are shown to diesel-generating installation in the relation with their constructive and operational safety and also the acoustic and fire safety of installations and environmental friendliness concerning safe utilization.

The second chapter provides the review of vibroacoustic radiations sources of diesel-generator installations, used methods technical devices reducing the sources.

In the third chapter we analyze the known ways how to utilize solid polymer waste.

In the fourth chapter we develop constructive schemes of effective technical devices for noise radiations reduction inside a diesel-generating installation in a closed type technical room.

In the fifth chapter the experimental investigation of the sound-absorbing properties of the noise-absorbing model samples intended for closed type diesel-generator substations is examined. Also, the method used by us to study sound-absorbing properties of shredded acoustic structures and model samples of noise-absorbing modules is given.

The sixth chapter deals with the safety of the operator of a diesel generator set.

In the seventh chapter of the economic section, the calculation of the cost of mock-up models of noise-absorbing modules is given and a comparative analysis of economic efficiency.

The conclusion of the work gives the result of the experiment after researching sound-absorbing properties of small-sized samples of firm porous sound-absorbing panels shredded fragments.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 Анализ действующих нормативных требований, предъявляемых к дизель-генераторным установкам в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности	13
1.1 Обеспечение акустической безопасности дизель-генераторных установок	13
1.2 Обеспечение пожарной безопасности дизель-генераторных установок...14	
1.3 Требования экологичности в отношении обеспечения безопасной утилизации и рециклинга	15
2 Аналитический информационный обзор основных источников виброакустических излучений дизель-генераторных установок и используемых способов и технических устройств их уменьшения	17
3 Информационно-патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов	19
4 Критический анализ известных конструктивно-технологических приемов уменьшения акустических излучений в шумоактивных технических помещениях	22
5 Методика экспериментального исследования звукопоглощающих свойств макетных образцов шумопоглощающих модулей предназначенных для футеровки внутренних поверхностей стеновых ограждающих конструкций подстанции закрытого типа со смонтированной дизель-генераторной установкой.....	27
5.1 Используемая методика экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств дробленных акустических структур и макетных образцов шумопоглощающих модулей	27

5.2 Результаты экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств малогабаритных образцов дробленых фрагментов твердых пористых звукопоглощающих модулей	31
5.3 Результаты экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств макетных образцов шумопоглощающих модулей.....	43
6 Охрана труда оператора дизель-генераторной установки.....	48
7 Экономический раздел.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	53
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Научно-техническая разработка относится к техническим устройствам, предназначенным для уменьшения шумовых излучений дизель-генераторных установок, находящихся в зданиях в закрытом помещении. Достижение повышенной эффективности шумоглушения достигается за счет использования дробленых звукопоглощающих элементов, образованных рециклированной утилизационной переработкой твердых полимерных отходов, с образованием соответствующих конструкций, перфорированных пористых звукопоглощающих модулей, содержащих сквозные перепускные каналы.

В результате реализован и интенсифицирован физический процесс дифракционного диссипационного поглощения энергии звуковых волн, возникающего в помещениях закрытого типа с находящимися внутри дизель-генераторными установками.

Данная разработка характеризуется высокой эффективностью заглушения акустической энергии, позволяет экономить (сохранять) невозобновляемое углеводородное сырье, применяемое для производства звукопоглощающих материалов, а также позволяет уменьшать степень загрязнения окружающей среды твердыми полимерными отходами.

1 Анализ действующих нормативных требований, предъявляемых к дизель-генераторным установкам в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности

1.1 Обеспечение акустической безопасности дизель-генераторных установок

Существует общепринятое мнение, что дизельный генератор работает очень шумно, чем создает определенный дискомфорт для окружающих его людей. Действительно, дизельные электростанции в силу своих технологических решений могут создавать достаточно высокий уровень шума: в двигателе внутреннего сгорания возникают шумы впуска, выпуска, шум от сгорания горючей смеси в цилиндрах, шум от работы зубчатых передач и прочие менее значительные шумы.

Вопрос уровня шума на рабочих местах на самом деле очень важен. Повышенный шум является причиной ухудшения слышимости, преждевременной утомляемости человека, исследования доказывают, что под влиянием шума производительность труда снижается на 10%, шум уменьшает зрительную реакцию, что вместе с утомляемостью резко увеличивает вероятность ошибок при работе. Исходя из этих данных, установлены санитарные нормы допустимого уровня шума в местах эксплуатации дизельных электростанций.

В настоящее время в Российской Федерации есть следующие нормативные требования, применяемые к дизель-генераторным установкам для обеспечения акустической безопасности: ГОСТ Р 52988-2008 («Шум машин. Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение шума методом охватывающей поверхности»), ГОСТ 12.1.003-2014 («Межгосударственный стандарт. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»).

Из данного ГОСТ следует, что уровень шума на территории предприятия не должен превышать 85 дБА и согласно СНиП II-12-77 уровень шума на территории, непосредственно прилегающей к зоне жилой застройки, - 45 дБА. Шум электроагрегата включает шум, излучаемый внешними поверхностями двигателя и генератора, шум всасывания и выхлопа, шум системы охлаждения двигателя и вентилятора генератора, а также шум, который излучают, например, присоединенные детали (часть) и несущая рама. Если электроагрегат полностью или частично заключен в звукоизолирующий кожух, то шумом поверхности является шум, излучаемый кожухом.

1.2 Обеспечение пожарной безопасности дизель-генераторных установок

При обеспечении пожарной безопасности необходимо применять Нормы технологического проектирования, утвержденные 19.07.90 «Автоматизированная дизельная электростанция». Так же следует руководствоваться следующими нормативными документами: СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы», СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания», НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности».

Из перечисленных норм следует, чтобы минимизировать возникновение пожара в помещении с ДГУ необходимо предусматривать, как правило, противопожарный водопровод, источником водоснабжения которого должен являться существующий закольцованный водопровод с двумя нитками ввода. Также источниками водоснабжения могут являться: градирня, бассейн, резервуары запаса воды (не менее двух). В этом случае противопожарный водопровод не выполняется. Все производственные и административные помещения с ДГУ без постоянного пребывания людей необходимо оборудовать автоматической пожарной сигнализацией. При этом

сигнал о возникновении пожара должен выдаваться в помещение, где находится персонал, ведущий круглосуточное дежурство. Извещатели для пожарной сигнализации должны выбираться из условия раннего обнаружения пожара, окружающей среды их установки. Размещение извещателей автоматической пожарной сигнализации должно выполняться в соответствии со СНиП 2.04.09-84 и "Инструкцией по проектированию противопожарной защиты энергетических предприятий. РД 34.49.101-87".

Для того, чтобы рабочий персонал, находящийся рядом с ДГУ смог вовремя эвакуироваться в случае возникновения пожара, вся электропроводка в помещении должна быть дополнительно оборудована огневой защитой, чтобы она сохраняла работоспособность во время пожара. Также в помещении закрытого типа с ДГУ могут применяться антипирены для соблюдения предъявляемых нормативных требований пожаробезопасности («О противопожарном режиме» № 390, ПУЭ и ПТЭП)

1.3 Требования экологичности в отношении обеспечения безопасной утилизации и рециклинга

Для того, чтобы минимизировать загрязнение окружающей среды при инжиниринговой разработке инновационных схем технических устройств, необходимо использовать твердые отходы за счет применения в качестве исходных сырьевых звукопоглощающих веществ технологических твердых отходов производства, причем не только в виде продуктов утилизации пористых воздухопродуваемых, но и утилизации твердых отходов в виде непористых воздухопродуваемых структур полимерных материалов, деталей и узлов технических объектов, завершивших свой жизненный цикл, путем их соответствующего фрагментного механического дробления, исключая применение «экологически грязных» технологий термохимических преобразований и/или энергетической утилизации путем сжигания или

захоронения в могильниках твердых полимерных отходов (употребляя исключительно только их соответствующее механическое дробление) [10].

2 Аналитический информационный обзор основных источников виброакустических излучений дизель-генераторных установок и используемых способов и технических устройств их уменьшения

В процессе многочисленных исследований было установлено, что виброакустические излучения от работающей дизель-генераторной установки передается двумя путями: по воздуху и при контакте с другими поверхностями. Согласно исследованиям, дизель-генераторная установка издает виброакустические излучения мощностью до 100 дБ. Если сравнить этот уровень с другими техническими устройствами, то он примерно равен шуму четырем транспортным средствам, едущим в пятистах метрах от жилого здания. Для того, чтобы снизить уровень виброакустических излучений, существуют различные комплексные разработки, результат применения которых позволяет добиться снижения шума в четыре раза. Для этого следует предотвратить распространение всех путей виброакустических излучений от работающей дизель-генераторной установки.

Существуют две группы методов для снижения шума: глобальные методы подавления шума и точечные методы подавления шума. Первый глобальный метод — это установка дизель-генераторной установки в отдельном здании, но она актуальна только для крупных предприятий, имеющих финансовую возможность для возведения нового сооружения. Второй глобальный метод — это установка дизель-генераторной установки в шумоизолированном помещении [12]. Данная методика реализуется наиболее часто из-за более простой реализации и меньших финансовых затратах.

Дизель-генераторная установка имеет несколько основных элементов, которые и являются источниками виброакустических излучений, поэтому

применение точечных методов в зонах данных элементов позволит существенно снизить уровень шума.

Первый точечный метод — это уменьшение механической вибрации. Установка в процессе эксплуатации производит вибрацию, которая передается через пол стенам и становится причиной возникновения виброакустических излучений. Для того, чтобы уменьшить эти излучения используются специальные амортизаторы, устанавливаемые по периметру дизель-генераторной установки. Так же устанавливаются звукоизолированные кожухи, которые создают вокруг установки дополнительный звуковой барьер.

Второй точечный метод — это снижения шума с помощью глушителей. Плюсом данного метода является простая установка, малые габариты и снижение шума установки примерно на 20 дБ. Принцип работы глушителя дизель-генераторной установки сопоставим с транспортными глушителями. Он уменьшает звуки системы выпуска за счет рассеивания энергии в находящихся внутри него камерах, тем самым останавливая звуковые волны, которые и являются причиной резонанса.

Третий точечный метод — это использование для шумоподавления специальных вентиляционных решеток или программируемых жалюзи, работающих в автономном режиме. Согласно параметрам используемой нами дизель-генераторной установки, поток воздуха в его отверстиях достигает скорости 3,5 м/с и характеризуется, как умеренный ветер. В добавок проходящий воздушный поток создает различные шумы, к которым прибавляется шум от работающего вентилятора [11].

3 Информационно-патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов

Представленное заявляемое техническое устройство учитывает, в частности, использование оригинальных звукопоглощающих элементов, образованных из соответствующего полуфабрикатного сырья, производимого путем утилизированной рециклированной переработки твердых полимерных структур, представленных, в частности, производственно-технологическим браком и отходами производства, преимущественно полимерных звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов и конструкций шумопонижающих устройств (экранов, кожухов, обивок, глушителей), а также аналогичного типа конструкций деталей и узлов, демонтированных с технических объектов, завершивших свой жизненный цикл и подвергаемых, в связи с этим, соответствующим процессам утилизации (легковые автомобили, грузовики, автобусы, речные и морские суда, средства воздушного и железнодорожного транспорта, строительные сооружения, бытовая техника и т.п.)

Применение рециклированных материалов, для изготовления шумопоглощающих модулей является не мало важной экологической и социальной задачей. При этом, необходимо учитывать, что в таких случаях никоим образом не должны ухудшаться характеристики производимых компонентов, изготовленных из такого типа рециклированных материалов. С помощью системы соответствующей маркировки принимаются решения о разделённой сортировке материалов, их последующей сепарированной переработке или захоронению в составе не утилизируемых материалов.

Проведенный патентный анализ поиска инновационных технологических приемов утилизационной переработки полимеров выявил

37 патентов на изобретения, выданных ведущими западными странами (США, Японии, Англии, Германии, Франции, Канаде, Швейцарии), которые представлены следующими номерами патентов: Ш 5575907; Ш 2013/0063 0 73; Ш 4571261; Ш 5788739; Ш 4107007; Ш 4409072; Ш 4769116; Ш 4597841; Ш 5437705; JP 9-117748; JP 10-189063; JP 10-211446; JP 10-211447; JP 9-082371; JP 7-508927; JP 60172180; JP 10-158751; JP 58-048645; JP 11102733; GB 1299902; GB 1558230; GB 2078138; GB 1535025; GB 1486738; GB 1471640; DE 3700143; DE 1972780; DE 4407768; DE 3612491; DE 2706056; DE 4407763; DE 4445495; FR 243052; FR 2592662; CA 1292203; CA 1169122; CH 681401. Также выявлено 8 европейских и международных заявок и патентов на изобретения по отмеченной тематике: EP 1049190; EP 652811; EP 842304; EP 0132243; EP 0196800; WO 2011/090458; WO 2008/043162; WO 02/222348.

Рассмотренные выше инновационные разработки должны решать не только технологические процедуры их продуктивного осуществления, но и в максимальной степени учитывать экологические и экономические последствия их реализаций. Используемое рециклированное термохимическое разложение твердых полимерных отходов, базирующееся на получении полуфабрикатных продуктов деструкции, вплоть до осуществления полной деполимеризации, как правило, требует существенных капитальных и энергетических затрат. В связи с этим более привлекательными, на наш взгляд, являются инновационные технологические решения по применению полуфабрикатных утилизационных продуктов, полученных, в частности, механическим дроблением полимерных материалов на соответствующие габаритные фрагменты, образующие оригинальные звукопоглощающие вещества. В отличие от известных типичных пористых звукопоглощающих веществ монолитного типа, они в дальнейшем могут продуктивно использоваться в составе разнообразных конструкций шумопоглощающих модулей, которыми могут комплектоваться различного типа шумогенерирующие технические

объекты. Производимые из твердых полимерных отходов дробленые фрагментированные элементы (в данном случае из полипропилена) могут быть, в частности, использованы в качестве составного звукопоглощающего вещества насыпных шумопоглощающих модулей или в составе отдельных элементов конструкций различных шумозаглушающих устройств, выполненных согласно патентам на изобретения: RU 2490150; RU 2525709; RU 2542607; RU 2504488; RU 2487020; RU 2494266; RU 2512134; RU 2442705; RU 2468934; RU 2481976; RU 2465390. Предпочтительным конструктивно-технологическим исполнением такого типа акустических (шумопонижающих) модулей может являться заданное дозированное применение комбинированных смесей утилизируемых дробленых фрагментов твердых плотных воздухонепродуваемых структур полимерных материалов в составе с дроблеными пористыми (вспененными открытоячеистыми и/или волокнистыми) воздухопродуваемыми звукопоглощающими структурами материалов (RU 2490150, RU2525709, RU2542607).

Выполненный обобщенный информационный анализ инновационных технологий утилизационной переработки полимерных отходов может представлять интерес в первую очередь для начальных стадий разработок технических проектов концептуального выбора тех или иных эффективных технологических процессов и/или производственного оборудования, а также для целей совершенствования уже функционирующих [13]. Весьма перспективной представляется комплексная рециклированная утилизационная переработка полимеров, базирующаяся не только на получении исходных вторичных сырьевых материалов, но и на производстве востребованных полуфабрикатных промышленных продуктов, в достаточной степени пригодных для непосредственного применения в различных технических устройствах.

4 Критический анализ известных конструктивно-технологических приемов уменьшения акустических излучений в шумоактивных технических помещениях

Известно, что для защиты окружающей среды от интенсивного акустического загрязнения (высоких уровней шума), производимого разнообразными видами шумогенерирующих технических объектов, широкое распространение находят различного типа звукоизолирующие (шумоизлучающие) ограждения зашумленных технических помещений (экранные перегородки, кожухи, панельные футеровки несущих и/или корпусных конструкций, оборудованные смонтированными на их поверхностях дополнительными слоями вязкоэластичных виброзвукодемпфирующих, и/или пористых воздухопродуваемых звукопоглощающих материалов, и/или плотных воздухопродуваемых звукоизолирующих материалов, и/или их разнообразными сочетающимися комбинациями с дополнительным включением несущих, армирующих, звукопрозрачных, защитных, адгезионных, декоративных слоев материалов или соответствующих конструктивных элементов). Также, для этих целей могут применяться обособленные единичные или сблокированные, представленные в виде агрегатированных модульных батарей, разнообразные типы акустических резонаторов – четвертьволновых (R^1), полуволновых (R^2), Гельмгольца (R^3), или же могут использоваться, содержащиеся в составе технических помещений, присоединенные к звукопередающим (волноводным) каналам (проемам) соответствующего вида объемные расширительные камеры, загораживающие (ослабляющие) передачу акустической энергии за счет образованных в них звукоотражающих воздушных (газонаполненных) «акустических пробок», характеризующихся резкими изменениями (перепадами) волновых акустических сопротивлений. В позволяющем большинстве случаев, применяются разнообразные

комбинированные сочетания перечисленных выше типов шумозаглушающих (шумопонижающих) способов и технических устройств по их осуществлению, и их конкретный выбор определяется как техническими, так и экономическими факторами. Использование такого широкого разнообразного типа шумозаглушающих технических приемов (способов), технических устройств и веществ (материалов), позволяет в той или иной мере обеспечить акустически безопасную шумоконфортную среду обитания для людей и животных. В частности, широкое распространение находят различного типа гибридные шумопонижающие конструкции, использующие комбинированную реализацию физических процессов звукопоглощения и звукоизоляции, где суммарный шумопонижающий эффект используемого технического устройства может базироваться как на эффектах отражения звуковой энергии, так и на комбинированном сочетании эффектов звукопоглощения и звукоотражения. Такого типа технические шумозаглушающие устройства могут, в том числе, не содержать в своем составе пористых воздухопродуваемых звукопоглощающих структур, или воздухо непродуваемых звукоизоляционных структур, а возникающий эффект шумоглушения может реализовываться исключительно функционированием индивидуальных частотно настроенных акустических резонаторных элементов (четвертьволновых R^1 , полуволновых R^2 , Гельмгольца R^3), включая применение перфорированных пластинчатых структур, располагаемых с заданным воздушным зазором относительно жестких звукоотражающих поверхностей, с образованием соответствующих полостных резонаторных устройств (акустических резонаторов Гельмгольца R^3). Такого типа полостные резонаторные устройства могут быть как пустотелыми, так и частично заполненными пористым звукопоглощающим веществом.

В качестве известных примеров использования технических устройств заглушения акустической энергии, функционирующих по отмеченным выше

физическим принципам, могут быть указаны, в частности, различного типа панельно-полостные шумопонижающие конструкции:

- международная заявка на изобретение WO 2009/131855 A2 (опубликована 29.10.2009 г.);
- международная заявка на изобретение WO 2008/138840 A1 (опубликована 20.11.2008 г.);
- международная заявка на изобретение WO 2009/037765 A1 (опубликована 20.09.2007 г.);
- патент Германии на изобретение DE 4315759 (опубликован 11.05.1993 г.);
- международная заявка на изобретение WO 2006056351 (опубликована 06.01.2006 г.);
- патент РФ на изобретение RU 2206458 (опубликован 20.06.2003 г.);
- патент Франции на изобретение FR 2910685 (опубликован 27.06.2008 г.);
- патент РФ на изобретение RU 2161825 (опубликован 10.01.2001 г.);
- заявка Австралии на изобретение AU 2007100636 (опубликована 16.08.2007).

Вышеприведённые шумопонижающие конструкции технических устройств характеризуются, в первую очередь существенным усложнением их технологического исполнения и относительно высокой стоимостью, при реализуемой недостаточно высокой звукоизолирующей способности (из-за наличия выделяющихся «звукоизолирующих провалов» в отдельных звуковых частотных диапазонах характеристики заглушения звуковой энергии, вследствие образования собственных «паразитных» полостных воздушных акустических резонансов), а также вынужденным сопутствующим возникающим сокращением («вытеснением») полезного рабочего объема технического помещения, усложнением процессов их эксплуатационного обслуживания (очистки, мойки) [14].

Еще одним известным техническим направлением совершенствования конструкций технических устройств ослабления распространения негативной («паразитной») звуковой энергии, генерируемой виброшумоактивными техническими объектами, смонтированными в технических помещениях, связанным с увеличением доли поглощенной звуковой энергии, является выполнение в передней лицевой панели технического устройства, непосредственно воспринимающей падающие звуковые волны, отверстий перфорации с заданными узкими технологическими допусками геометрических форм и определенных габаритных размеров. Такого типа шумопонижающие технические устройства известны из следующих патентных документов:

- патента Германии на изобретение DE 4315759 C1 (опубликован 11.05.1993);
- патента США на изобретение US 6194052 B1 (опубликован 20.06.1998);
- Европейского патента на изобретение EP 1146178 A2 (опубликован 15.03.2001);

Известно техническое решение по патенту РФ на изобретение №2579104, опубликованном 20.12.2015, применяемое в качестве прототипа, в котором представлено зашумленное техническое помещение, оборудованное звукоизолирующей зашивкой, выполненной в виде звукоизолирующей лицевой плосколистовой и/или звукоизолирующей формованной неплоской панели, зазорно монтируемой относительно поверхности оппозитно расположенной несущей стеновой (потолочной) конструкции технического помещения соответствующим образом закреплены четвертьволновые акустические резонаторы R^1 и/или полуволновые акустические резонаторы R^2 , частотно настроенные и температурно адаптированные на подавление в образованных воздушных полостях возникающих воздушных акустических резонансов, формирующихся на их собственных поперечных, продольных и

повысотных акустических модах. Функцию частичного по эффективности подавления амплитудных значений собственных акустических резонансов в воздушных полостях, образуемых между оппозитно расположенными стенками звукоизолирующей лицевой панели звукоизолирующей зашивки и несущей стеновой (потолочной) конструкцией технического помещения, выполняют обособленные брикетированные звукопоглощающие модули, соответствующим образом размещаемые в заданных пространствах воздушных полостей [9].

Недостатком технического решения, представленного в прототипе, является сложность его технологического исполнения, а также высокая стоимость, трудоемкость монтажа и технического обслуживания, обусловленная в первую очередь необходимостью отдельного монтажа различного типа шумоподавляющих конструктивных элементов (четвертьволновых акустических резонаторов R^1 и/или полуволновых акустических резонаторов R^2), с использованием соответствующих крепежных элементов и отдельной лицевой панели. Применение лицевой панели в составе рассматриваемого технического решения вызывает соответствующее скачкообразное изменение (перепад) волнового акустического сопротивления на пути распространения звуковых волн.

5 Методика экспериментального исследования звукопоглощающих свойств макетных образцов шумопоглощающих модулей предназначенных для футеровки внутренних поверхностей стеновых ограждающих конструкций подстанции закрытого типа со смонтированной дизель-генераторной установкой

5.1 Используемая методика экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств дробленных акустических структур и макетных образцов шумопоглощающих модулей

Звукопоглощающие свойства образцов материалов оценивались реверберационным методом с использованием лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа».

Реверберационный метод основан на использовании малогабаритной реверберационной камеры – лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа». Объем камеры «Кабина Альфа» составляет 6.45 м^3 , ее основные размеры являются уменьшенной копией (1:32) большой реверберационной камеры Швейцарской федеральной лаборатории Института по исследованиям и испытанием материалов, расположенной в г. Дюбендорфе. Характеристики диффузности звукового поля в данной камере аналогичны диффузности звукового поля в большой реверберационной камере, однако рабочий частотный диапазон измерений пропорционально меньше. Он определяется габаритными размерами камеры и составляет 400...10000 Гц. Именно этот частотный диапазон наиболее актуален для оценки эффективности типичных используемых образцов звукопоглощающих материалов и/или шумопоглощающих модулей габаритными размерами $0,5 \times 2,0 \text{ м}$.

Принципы измерения в «Кабине Альфа» аналогичны принципам измерений в большой реверберационной камере. Коэффициент

звукопоглощения рассчитывается на основании замеров и сопоставлений времени реверберации пустой камеры и времени реверберации камеры с установленным в ней образцом шумопоглощающего материала. При акустических испытаниях образец материала (шумопоглощающий модуль) заданного габаритного размера устанавливается на пол реверберационной камеры лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа», на котором нанесена координатная разметка в виде сетки с пронумерованными квадратными ячейками для обеспечения, заданного фиксированного пространственного положения испытываемых образцов в камере.

Стеновая оболочка камеры лабораторно-стендовой установки «Кабина Альфа» выполнена из демпфированных стальных листов, приваренных с двух сторон к трубчатой конструкции (квадратного сечения), при этом все стенки камеры не параллельны, для обеспечения диффузности звукового поля в полости камеры. Внутренняя поверхность (между стальными демпфированными листами) заполнена звукопоглощающим нетканым волокнистым материалом, который обеспечивает приемлемо высокую звукоизоляцию стенок и пространства камеры (не менее 60 Дб) от внешних шумовых помех. Для увеличения диффузности (ослабления неравномерности) звукового поля в камере в ней дополнительно установлены боковые (настенные) диффузоры, которые представляют собой усеченные сферообразные фрагменты с квадратными основаниями и выполнены из прессованного поливинилхлорида. Потолочный диффузор представляет собой конус, выполненный из стального демпфированного листа.

В Полости реверберационной камеры возбуждается диффузное звуковое поле, генерируемое тремя громкоговорителями 4. Регистрация уровней звуковых давлений в заданных дискретных точках пространства реверберационной камеры производится с использованием измерительного микрофона 5, установленного на поворотной платформе 8. Показателями, оценивающими звукопоглощающие свойства исследуемых образцов

материалов, являются параметры «реверберационный коэффициент звукопоглощения» α_{rev} и «площадь эквивалентного звукопоглощения» $A_{эkv}$. При определении значений реверберационного коэффициента звукопоглощения α_{rev} образцов звукопоглощающих материалов их внешний периметрический контур (торцевые зоны) по своей толщине (высоте) беззасторно закрывается плотным звукоотражающим материалом (металлическими уголками или несколькими слоями липкой бумажной ленты на плотной звукоотражающей основе). Это позволяет устранять влияния дополнительного поглощения звука свободными пористыми поверхностными торцевыми зонами образца на результаты оценки поглощения звука заданной площадью лицевой поверхности образца. Возникающая дифракция звука на свободных краях образца материала вызывает дополнительное поглощение звуковой энергии (краевое дифракционное поглощение звука), что приводит к увеличению действительного значения реверберационного коэффициента звукопоглощения α_{rev} . Это увеличение зависит как от физических свойств пористой структуры оцениваемого звукопоглощающего материала, так и от отношения периметрического контура образца к площади его лицевой поверхности. Для примерного учета влияния (ослабления влияния) краевого звукопоглощающего эффекта размером 1200*1000 мм в формулу вычисления реверберационного коэффициента звукопоглощения α_{rev} вводится поправочный коэффициент 0,92. Таким образом, реверберационный коэффициент звукопоглощения α_{rev} образцов материалов определяется с использованием следующей зависимости:

$$\alpha_{rev} = 55,3 \frac{V}{c \cdot S} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \cdot 0,92 \quad (5.1)$$

Где V – эффективный полезный объем пустой реверберационной камеры, м³;

c – скорость распространения звука в воздухе, м/с;

S – площадь фронтальной (лицевой) поверхности испытываемого образца, м²;

T_1 – время реверберации пустой камеры, без исследуемого образца, с;

T_2 – время реверберации камеры, содержащей исследуемый образец, с.

При исследовании звукопоглощающих свойств комплектов, дробленных малогабаритных звукопоглощающих модулей, выполняется их хаотичное распределение на полу камеры «Кабина Альфа» по площади равной $1,2 \text{ м}^2$, с целью последующего сопоставления с результатами исследований монолитных звукопоглощающих модулей аналогичной площади проекции лицевой поверхности. В случае необходимости (для ограничения заданной площади поверхности пола или исключения влияния на результаты торцевых поверхностей образуемых комплектов звукопоглощающих фрагментов) хаотичное распределение дробленных звукопоглощающих модулей может осуществляться в специальной емкости с открытым (или перекрытым перфорированным модулем) верхом, боковые стенки которой выполнены из звукоотражающего материала, устанавливаемой впоследствии на полу камеры «Кабина Альфа». В качестве оценочного параметра, определяющего звукопоглощающую эффективность малогабаритных дробленных фрагментов, используется альтернативный параметр оценки звукопоглощающих свойств исследуемых объектов – «площадь эквивалентного звукопоглощения» $A_{\text{экв}}$.

Оценочный параметр «площадь эквивалентного звукопоглощения» $A_{\text{экв}}$ исследуемых образцов малогабаритных дробленных фрагментов сопоставляется с соответствующим значением «площади эквивалентного звукопоглощения» $A_{\text{экв}}$ абстрактной плоской звукопоглощающей поверхности, обладающей значением реверберационным коэффициентом звукопоглощения $\alpha_{\text{rev}} = 1,0$ усл.ед., (т.е. обладающей 100% поглощением звуковой энергии), которая имеет те же (идентичные) звукопоглощающие свойства, что и сопоставляемый с ней исследуемый объект (шумопоглощающий модуль), установленный в камере лабораторно-

стендовой установки «Кабина Альфа» и рассчитывается согласно выражению:

$$A_{\text{экв}} = 55,3 \frac{V}{c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \text{ м}^2 \quad (5.2)$$

Где V – эффективный полезный объем пустой реверберационной камеры, м^3 ;

c – скорость распространения звука в воздухе, м/с ;

T_1 – время реверберации пустой камеры, без исследуемого образца, с ;

T_2 – время реверберации камеры, содержащей исследуемый образец, с .

При оценке звукопоглощающих свойств представленные параметры (α_{rev} и $A_{\text{экв}}$) могут определяться в частотной области как активных полос с центрами 500...8000 Гц, так и 1/3 октавных полос с центрами 400...10000 Гц.

5.2 Результаты экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств малогабаритных образцов дробленых фрагментов твердых пористых звукопоглощающих модулей

На рисунках 1...8 представлены сопоставительные результаты акустических исследований влияния степени дробления монолитных плосколистовых звукопоглощающих модулей на малогабаритные фрагменты и их последующего хаотичного распределения на опорной монтажной поверхности на изменение величины эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$. Приведенные результаты свидетельствуют о высокой эффективности используемого приема структурной модификации пористых звукопоглощающих структур материалов. Исследования проводились на образцах плосколистовых звукопоглощающих модулей из открытоячеистого пенополиуритана марки AA25SMT, производства ЗАО НПП «Техникал Консалтинг» (г. Тольятти), толщиной листов 25 мм и площадью 1,2 м^2 .

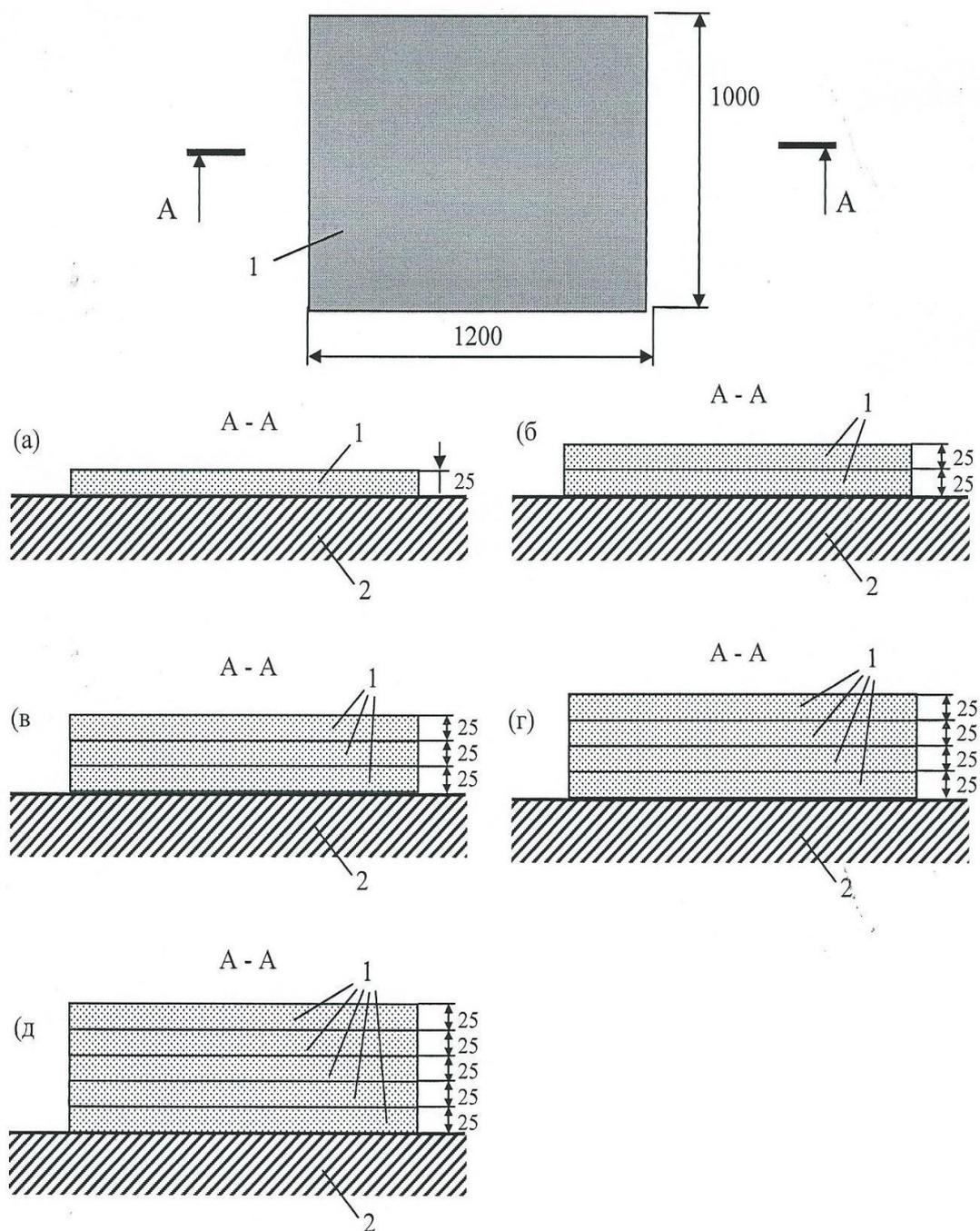
В качестве начального этапа исследовалась эффективность ступенчатого увеличения суммарной толщины пористого слоя (объема пористого звукопоглощающего вещества) путем наращивания количества используемых плосколистовых монолитных модулей (от 1 до 5) материала

AA25SMT штатных габаритных размеров (1000 · 1200 мм), монтируемых на опорной поверхности пола камеры «Кабина Альфа» (рисунок 1). Как свидетельствуют полученные результаты исследований (рисунок 2), ступенчатое наращивание общей толщины пористого звукопоглощающего слоя, производимое установкой вторым плосколистовым модулем звукопоглощающего материала AA25SMT на лицевую поверхность первого плосколистового модуля аналогичного материала, уже смонтированного на полу камеры «Кабина Альфа», это обеспечивает увеличение значений эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ во всем контролируемом частотном диапазоне на величину до 0,23 м² (до 28%). Дополнительная установка третьего плосколистового звукопоглощающего модуля вызывает соответствующий рост указанного эффекта уже до 0,34 м² (до 37%) относительно варианта исследований с одним плосколистовым звукопоглощающим модулем. Установка четырех плосколистовых звукопоглощающих модулей повышает величину эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ до 0,41 м² (до 42%), а установка пяти плосколистовых звукопоглощающих модулей – до 0,47 м² (до 47 %). Достигаемые в завершающем экспериментном варианте установки пяти плосколистовых звукопоглощающих модулей, общей толщиной пористого звукопоглощающего слоя 125 мм, значения эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ в исследуемом диапазоне 1/3-октавных полос частот 400...10000 Гц составляют 0,99...1,45 м². Отмеченный эффект возрастания значений эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ в существенной степени обусловлен увеличением звукопоглощающей площади торцевых поверхностей плосколистовых звукопоглощающих модулей (при неизменной площади лицевой поверхности блока из пяти плосколистовых модулей), для каждого из которых она составляет 0,11 м², а суммарная для варианта из пяти плосколистовых звукопоглощающих модулей – уже 0,55 м² (рост на 0,44 м²).

На следующем этапе исследований была оценена эффективность поочередного увеличения количества дробленных звукопоглощающих модулей (образцов, частей, модулей) путем ступенчатого уменьшения их габаритных размеров и соответствующего роста числа дробленных фрагментов размерами 100·100 мм, 100·50 мм, и 50·50 мм, с последующим их поверхностным хаотичным образом распределением в несколько слоев на опорной поверхности пола камеры «Кабина Альфа» по ограниченной поверхности площадью 1,2 м² (рисунок 3). Как свидетельствуют полученные результаты исследований (рисунки 4 – 8), дробление одной, двух и более монолитных плосколистовых звукопоглощающих модулей на 120 малогабаритных фрагментов, размером 100·100 мм, с последующим их хаотичным распределением на опорной поверхности пола камеры «Кабина Альфа» (по ограниченной поверхности площадью 1,2 м²) вызывает увеличение значений эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ во всем исследуемом диапазоне 1/3-октавных полосчастот 400...10000 Гц на величину до 0,32 м² (до 31%), относительно базовых вариантов их монолитного исполнения. Каждое последующее двухкратное увеличение количества малогабаритных звукопоглощающих фрагментов (до 240 шт. и до 480 шт.) при соответствующем двухкратном уменьшении их габаритных размеров (до 100·50 мм и до 50·50 мм) приводит к соответствующему увеличению значений эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ на величину до 0,2 м² (до 22%). Эффекты увеличения звукопоглощающей эффективности отмечаются практически во всем исследуемом диапазоне частот 400...10000 Гц.

Достижимые эффекты увеличения звукопоглощающей эффективности использованием звукопоглощающих структур в виде дробленных звукопоглощающих фрагментов в сравнении с типичными применениями в технических объектах вариантами их монолитного исполнения обеспечиваются, в первую очередь, за счет включения в процесс поглощения

звуковой энергии дополнительных многочисленных поверхностей пористых торцевых зон воздухопродуваемого слоя пористого звукопоглощающего материала, а также образуемых сообщающихся межграневых воздушных каналов и полостей образующихся между неплотно (зазорно) располагаемыми фрагментами, реализации механизма дифракционного рассеивания энергии звуковых волн, возникающего на многочисленных свободных краевых (граневых) зонах обособленных дробленых пористых звукопоглощающих фрагментов. Также имеет место благоприятное воздействия процесса фрагментального дробления крупногабаритных монолитных пористых звукопоглощающих модулей на снижение динамической жесткости их пористого скелета, что дополнительно способствует повышению звукопоглощающего и вибродемпфирующего эффектов используемых вариантов модифицированных звукопоглощающих материалов.



1 – исследуемые образцы звукопоглощающего материала AA25SMT;

2 – пол камеры «Кабина Альфа»

(а,б,в,г,д) – на полу камеры «Кабина Альфа» установлено 1,2,3,4 и 5 монолитных образцов плосколистового звукопоглощающего материала AA25SMT

Рисунок 1 – Схема различных вариантов размещения на полу камеры «Кабина Альфа» монолитных образцов плосколистового звукопоглощающего материала AA25SMT

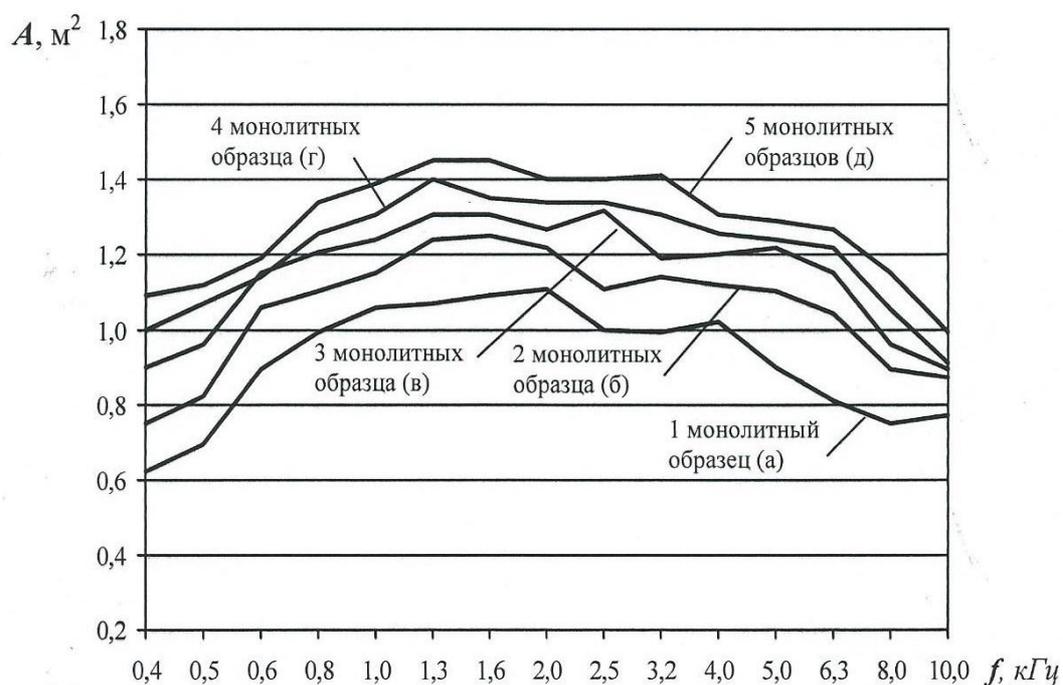
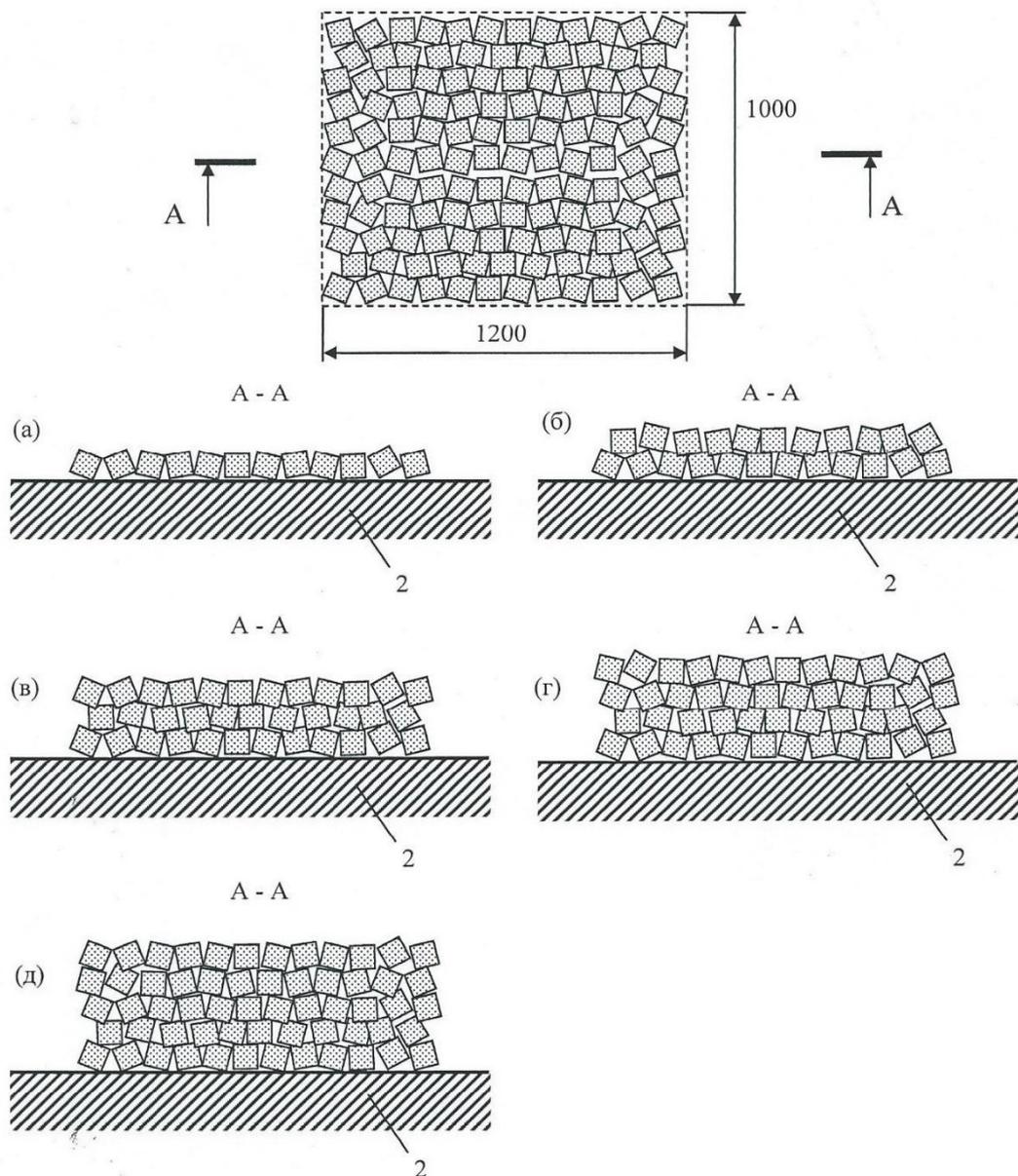


Рисунок 2 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ 1 монолитного образца (а) плосколистового материала тиа AA25SMT (установлен на полу камеры «Кабина Альфа»), 2 (б), 3 (в), 4 (г) и 5 (д) аналогичного типа образцов материала, установленных сверху на исследованном образце материала согласно схемы рисунка 1 (б, в, г, д)

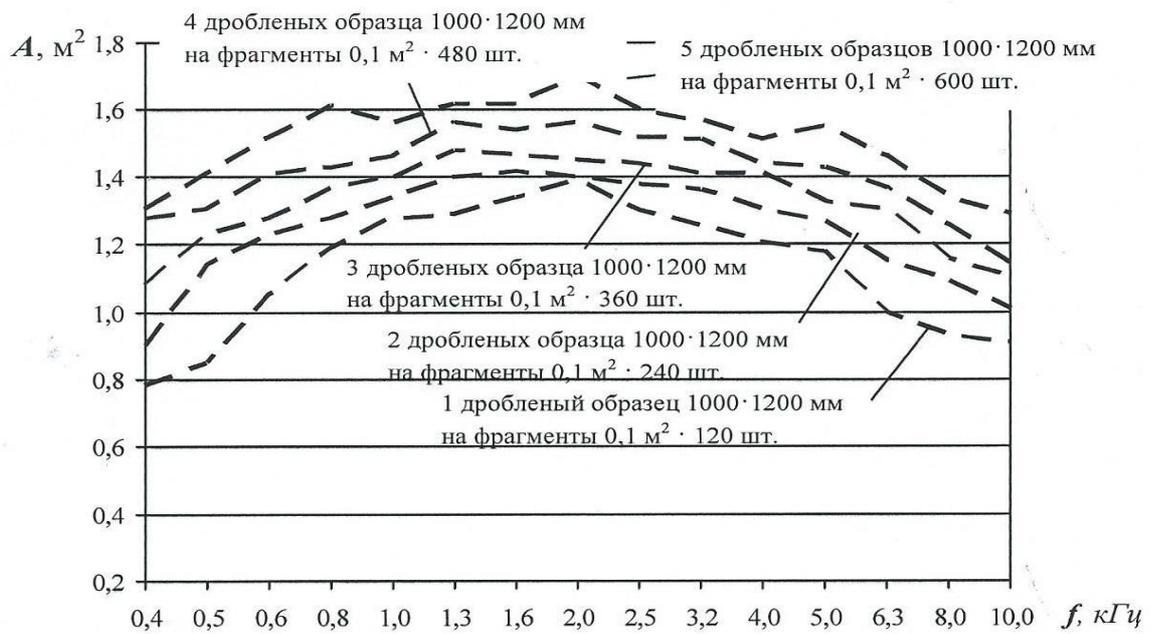


1 – исследуемые образцы звукопоглощающего материала AA25SMT;

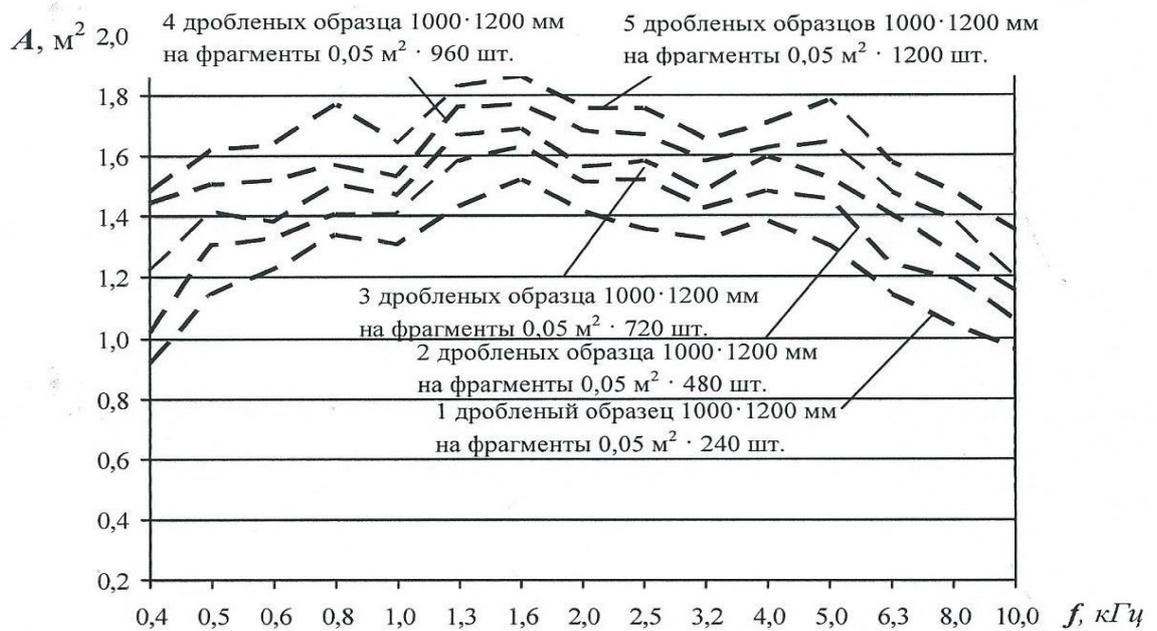
2 – пол камеры «Кабина Альфа»

(а, б, в, г, д) – на пол камеры «Кабина Альфа» установлены малогабаритные звукопоглощающие фрагменты прямоугольной геометрической формы, произведенные из монолитных плосколистовых панелей из материала AA25SMT, соответственно 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г), 5 (д) штатных крупногабаритных панелей размером 1000·1200 мм

Рисунок 3 – Схема различных вариантов размещения на полу камеры «Кабина Альфа» дробленых фрагментов образцов плосколистового звукопоглощающего материала AA25SMT



(a)



(б)

Рисунок 4 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ дробленых пористых звукопоглощающих фрагментов из материала AA25SMT размером 100·100 мм (0,1 м²) и 50·100 мм (0,05 м²), хаотичным образом распределенных по ограниченной площади поверхности 1,2 м² пола камеры «Кабина Альфа» согласно рисунка 3

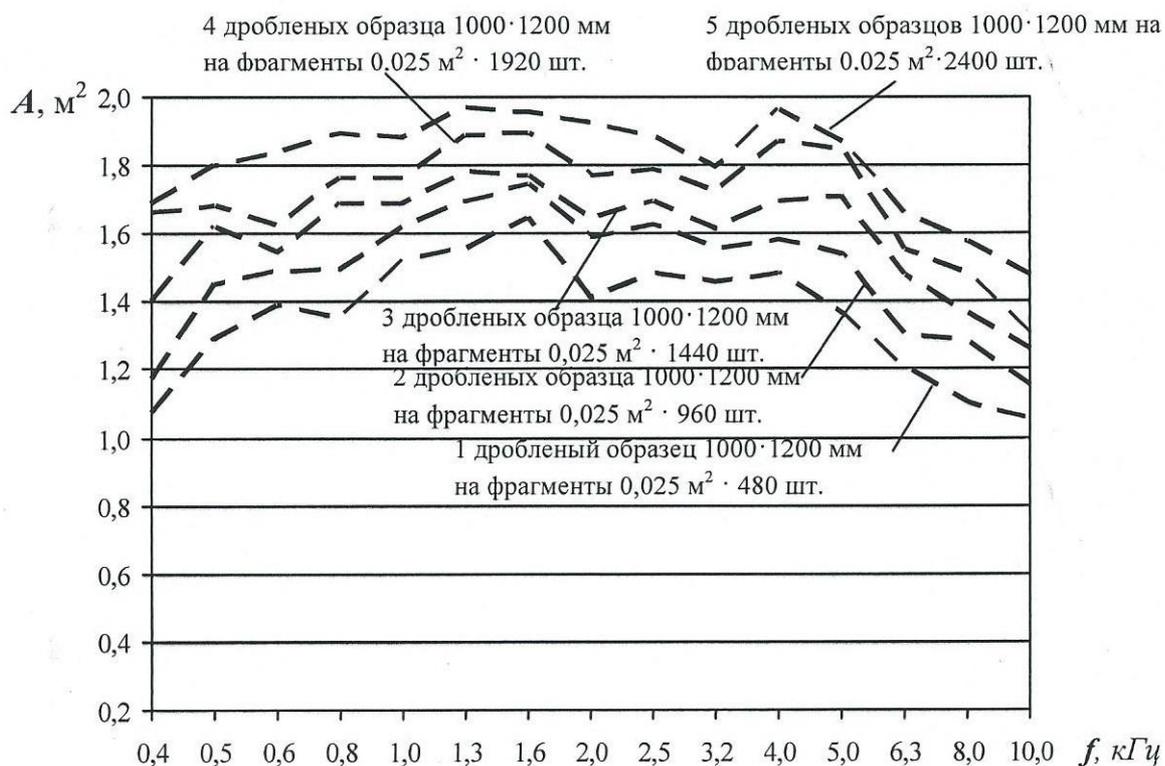


Рисунок 5 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ дробленых пористых звукопоглощающих фрагментов из материала AA25SMT размером 50·50 мм ($0,025 \text{ м}^2$), хаотичным образом распределенных по ограниченной площади поверхности $1,2 \text{ м}^2$ пола камеры «Кабина Альфа» согласно рисунка 3

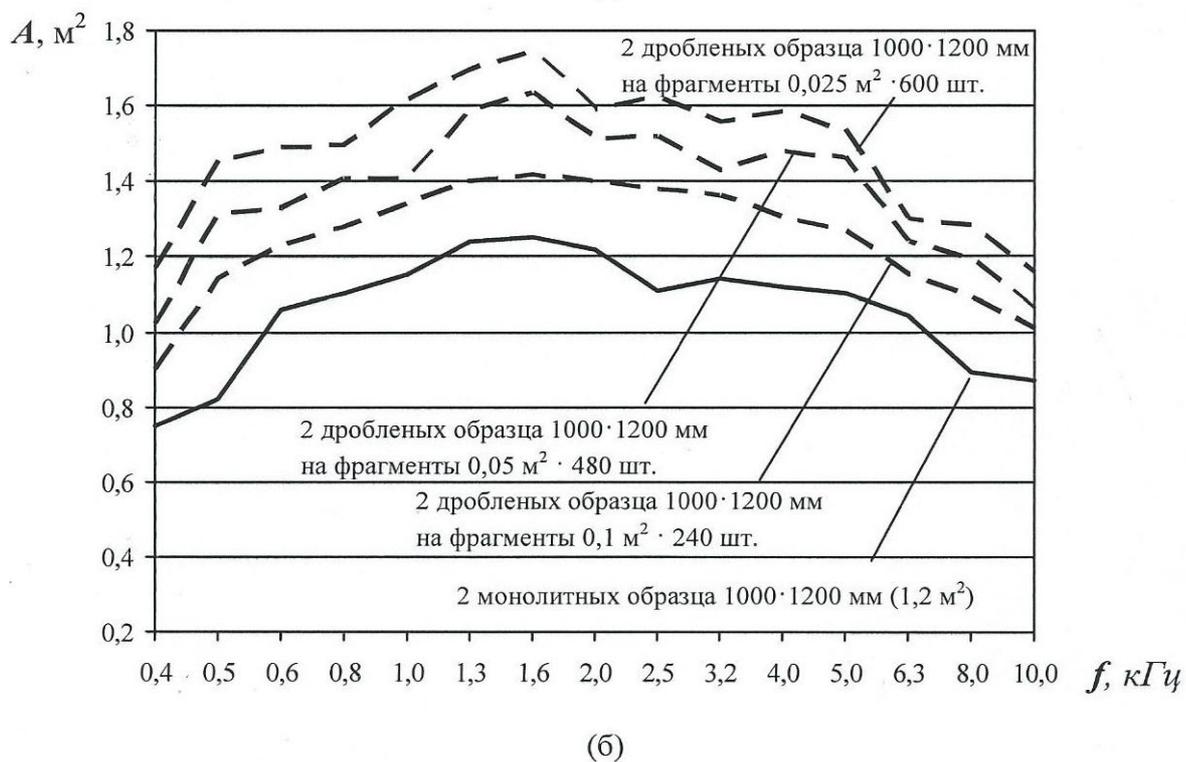
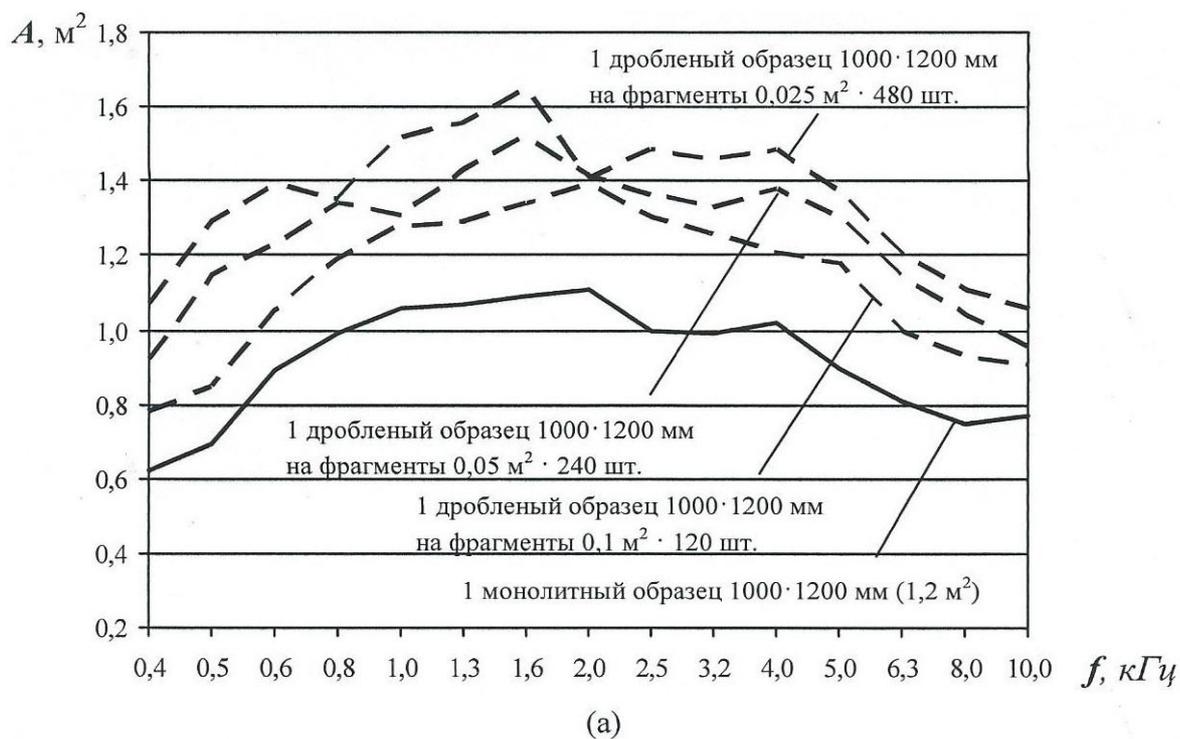


Рисунок 6 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ 1 (а) и 2 (б) сплошных образцов плосколистового материала AA25SMT и аналогичных образцов материала, каждый из которых раздроблен на фрагменты 100·100 мм (0,1 м²), 50·100 мм (0,05 м²) и 50·50 мм (0,025 м²), хаотичным образом распределенных по ограниченной площади поверхности 1,2 м² пола камеры «Кабина Альфа» согласно рисунка 3

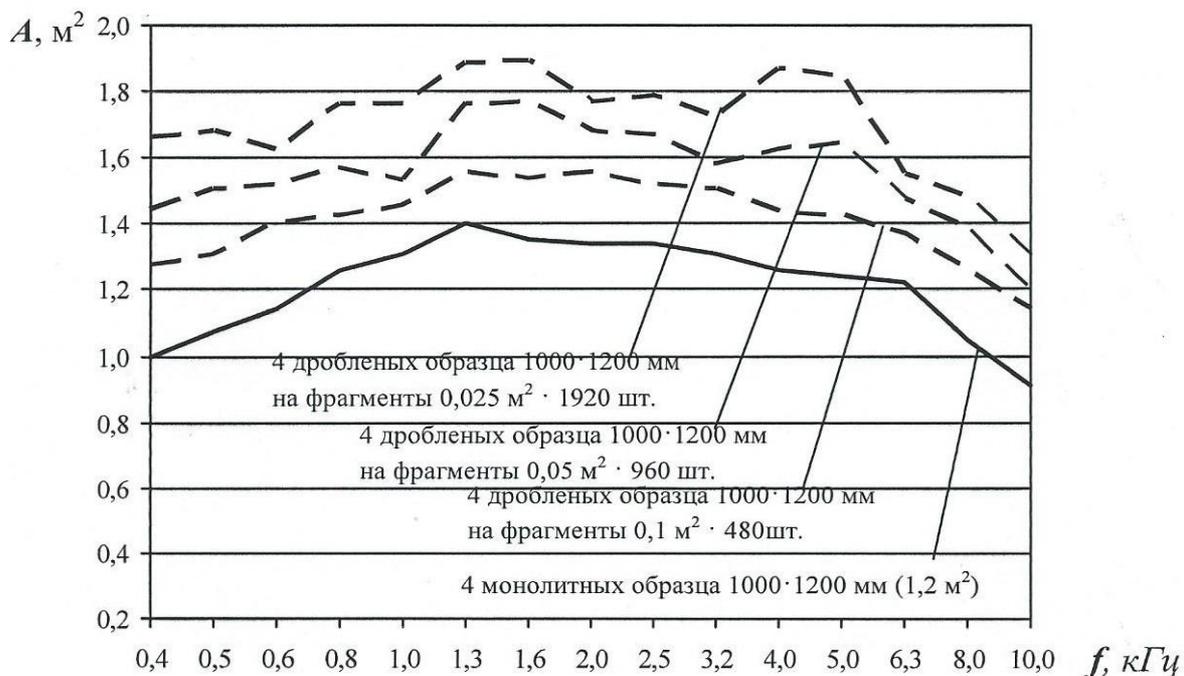
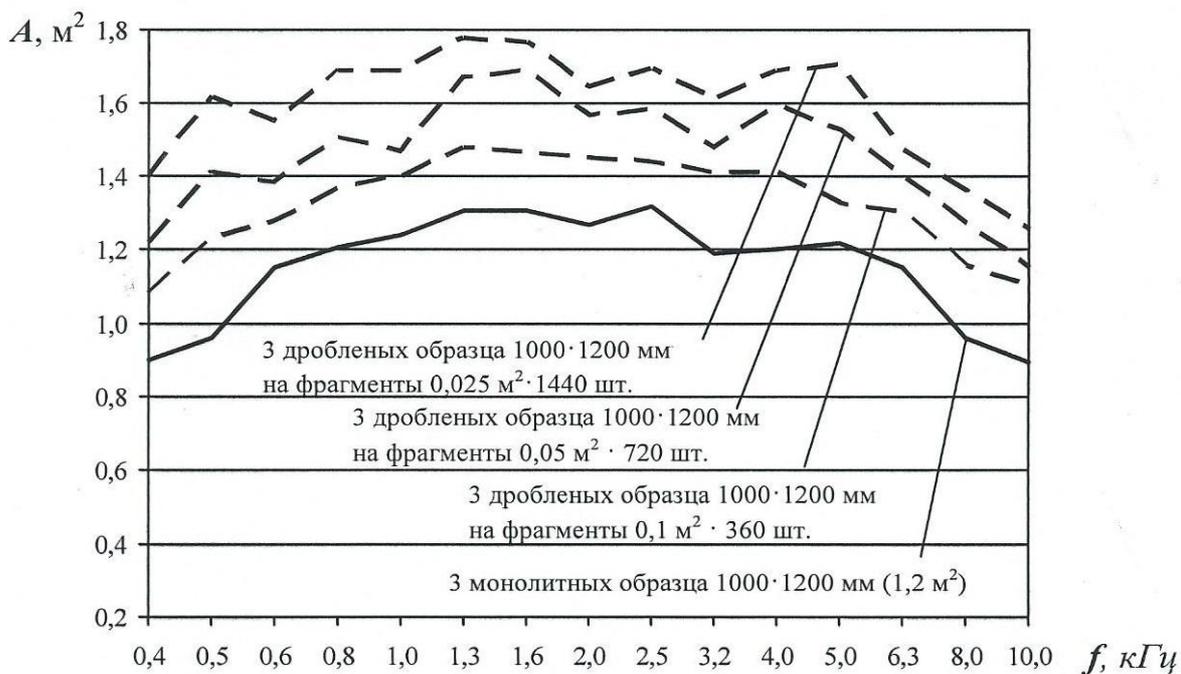


Рисунок 7 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ 3 (сверху) и 4 (снизу) сплошных образцов плосколистого материала АА25SMT и аналогичных образцов материала, каждый из которых раздроблен на фрагменты 100·100 мм (0,1 м²), 50·100 мм (0,05 м²) и 50·50 мм (0,025 м²), хаотичным образом распределенных по ограниченной площади поверхности 1,2 м² пола камеры «Кабина Альфа» согласно рисунка 3

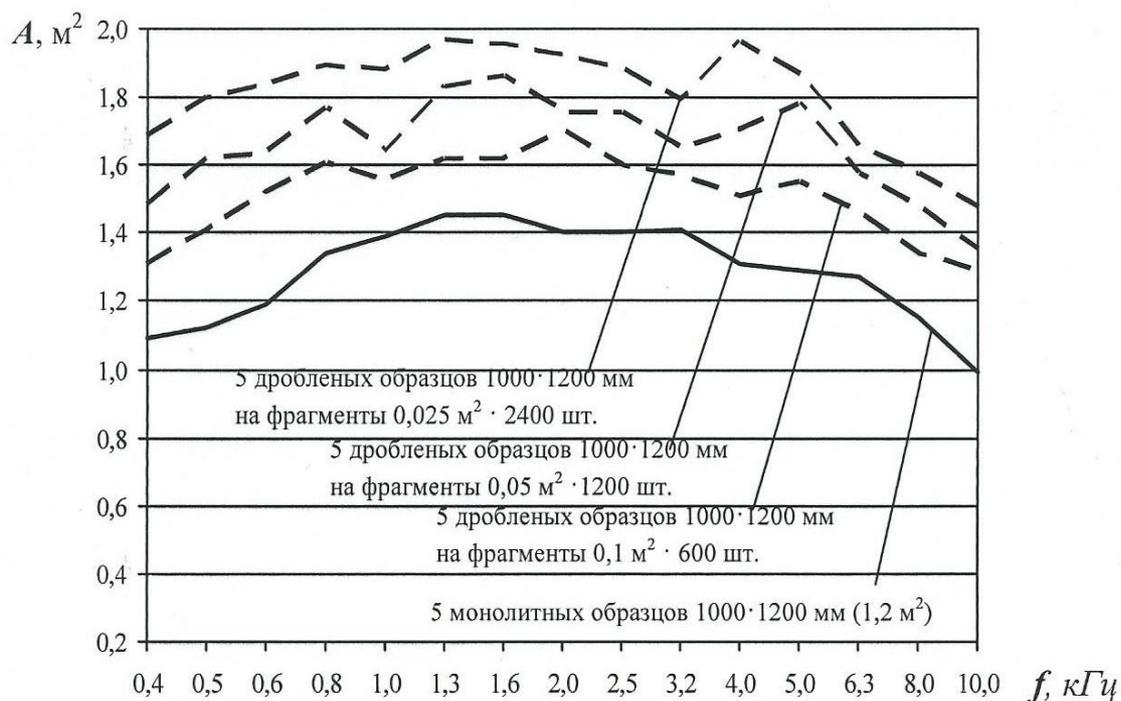
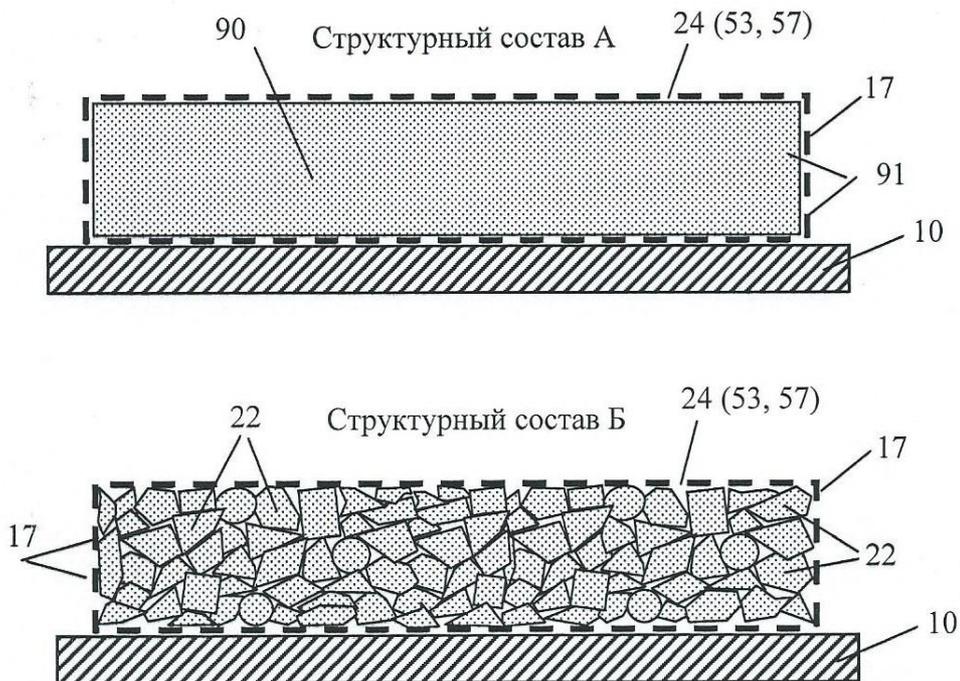


Рисунок 8 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{экв}$ 5 сплошных образцов плосколистого материала AA25SMT и аналогичных образцов материала, каждый из которых раздроблен на фрагменты $100 \cdot 100 \text{ мм}$ ($0,1 \text{ м}^2$), $50 \cdot 100 \text{ мм}$ ($0,05 \text{ м}^2$) и $50 \cdot 50 \text{ мм}$ ($0,025 \text{ м}^2$), хаотичным образом распределенных по ограниченной площади поверхности $1,2 \text{ м}^2$ пола камеры «Кабина Альфа» согласно рисунка 3

Таким образом, предлагаемое рационализированное дробление пористых звукопоглощающих структур материалов (в особенности – из материалов утилизируемых шумоизоляционных пакетов), содержащихся в составе технических объектов, в первую очередь, утилизируемых легковых автомобилей, следует рассматривать как наиболее целесообразный технически, экономически и экологически оправданный путь разработок и эксплуатации их низкошумных конструктивно-технологических исполнений, которое может быть использовано в качестве звукопоглощающего вещества в составных конструктивных элементах помещений с находящейся внутри дизель-генераторной установкой.

5.3 Результаты экспериментальных исследований звукопоглощающих свойств макетных образцов шумопоглощающих модулей

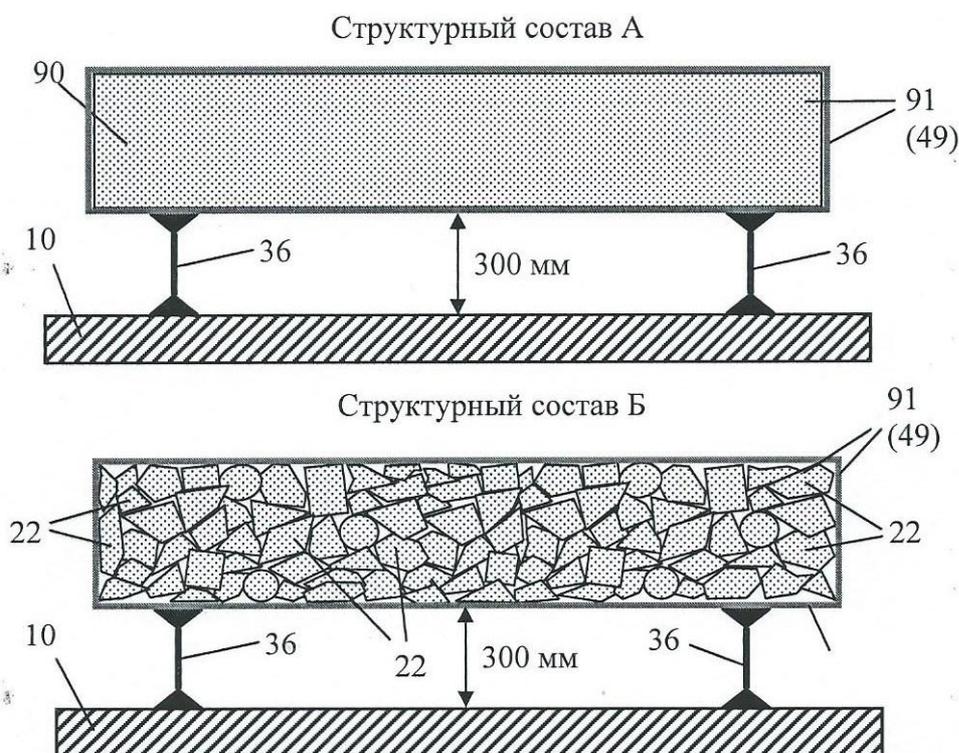
Эскизные схемы, структурный состав и результаты определения параметра «эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ » макетных образцов шумопоглощающих модулей приведены на рисунках 9...11

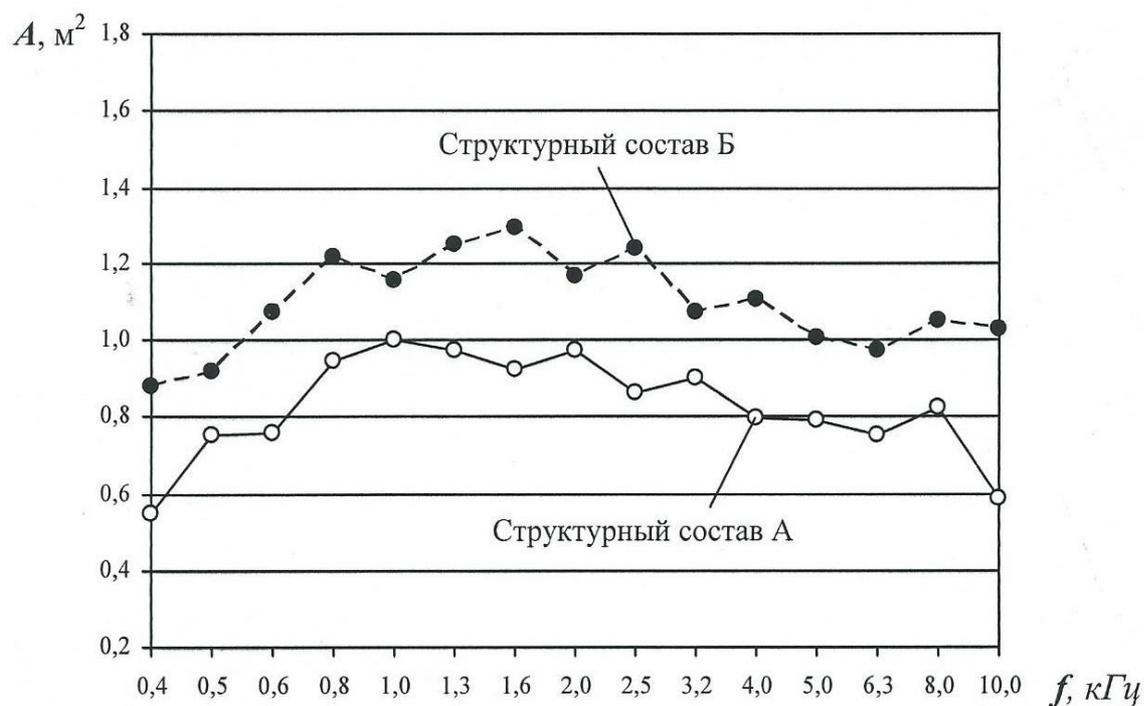


Структурный состав А – монолитный образец (90) 1000·1200 мм(1,2 м²) толщиной 50 мм, помещенный в полость замкнутой формованной емкости внешней звукопрозрачной оболочки, изготовленной из перфорированного ($k_{пер}=0,2$) листа полимерного материала, толщиной стенки 2,5 мм.

Структурный состав Б – монолитный образец (90) 1000·1200 мм(1,2 м²) толщиной 50 мм, дробленый на фрагменты 0,025 м² · 960 шт., помещенный в полость замкнутой формованной емкости внешней звукопрозрачной оболочки, изготовленной из перфорированного ($k_{пер}=0,2$) листа полимерного материала, толщиной стенки 2,5 мм.

Рисунок 9 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{экр}$ макетных образцов шумопоглощающих модулей конструктивно-технологического исполнения с монолитным пористым звукопоглощающим слоем (А) – 90 и содержащего обособленные дробленые фрагментированные звукопоглощающие элементы (Б) – 22.



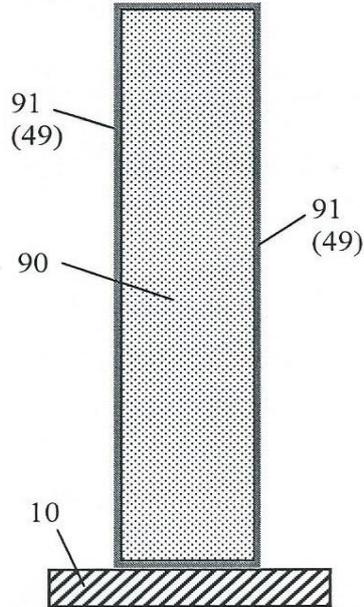


Структурный состав А – монолитный (недробленый) образец (90) 500·1600 мм (0,8 м²) толщиной 50 мм, помещенный в полость замкнутой формованной обособленной емкости 91 внешней звукопрозрачной пленки 24 из эластичной полиэстеровой пленки 49, толщиной 0,012 мм с исключением взаимных адгезионных связей между собой.

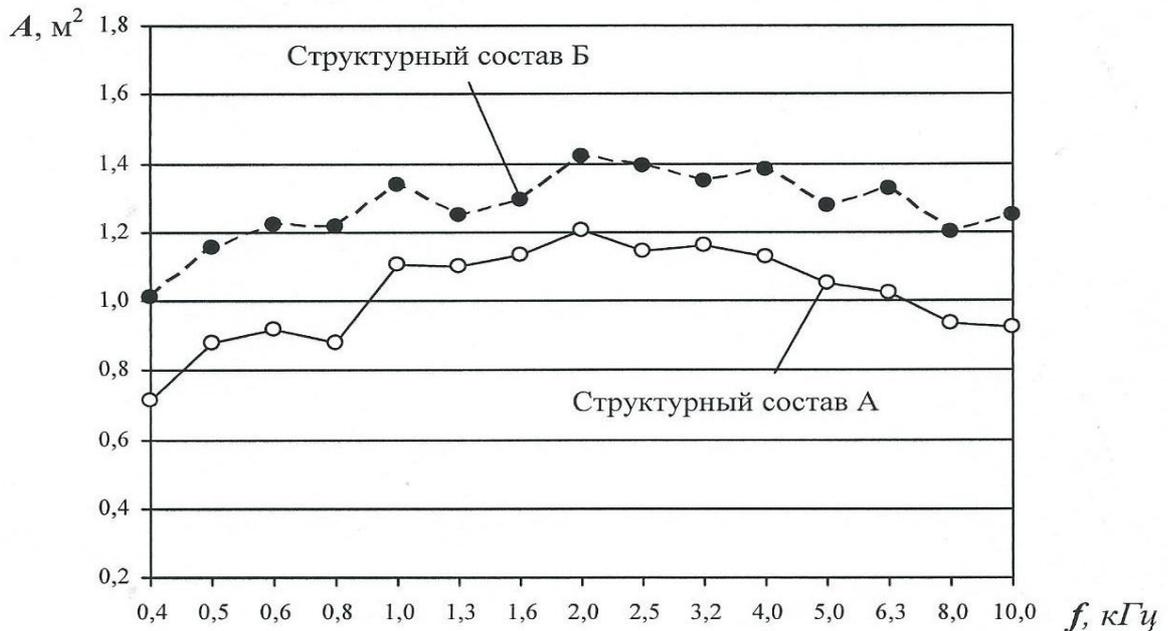
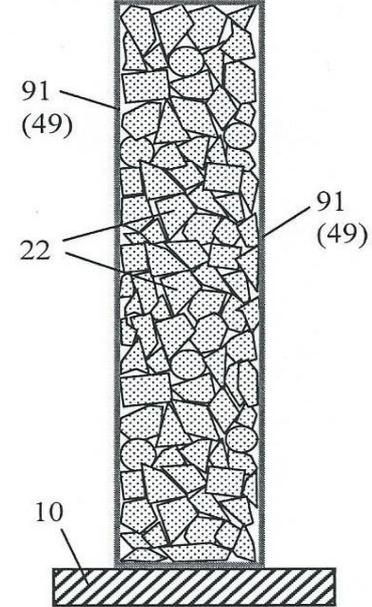
Структурный состав Б – монолитный образец (90) 500·1600 мм (0,8 м²) толщиной 50 мм, дробленый на фрагменты 0,025 м²·320 шт., помещенные в полость замкнутой формованной обособленной емкости 91 внешней звукопрозрачной пленки 24 из эластичной полиэстеровой пленки 49, толщиной 0,012 мм с введением взаимных адгезионных связей термопластичными волокнами между собой.

Рисунок 10 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{экв}}$ макетных образцов шумопоглощающих модулей конструктивно-технологического исполнения с монолитным пористым звукопоглощающим слоем (А) – 90 и содержащего обособленные дробленые фрагментированные звукопоглощающие элементы (Б) – 22.

Структурный состав А



Структурный состав Б



Структурный состав А – монолитный (недробленый) образец (90) 500·1600 мм ($0,8 \text{ м}^2$) толщиной 50 мм, помещенный в полость замкнутой формованной обособленной емкости 91 внешней звукопрозрачной пленки 24 из эластичной полиэстеровой пленки 49, толщиной 0,012 мм с исключением взаимных адгезионных связей между собой.

Структурный состав Б – монолитный образец (90) 500·1600 мм ($0,8 \text{ м}^2$) толщиной 50 мм, дробленый на фрагменты $0,025 \text{ м}^2 \cdot 320$ шт., помещенные в полость замкнутой формованной обособленной емкости 91 внешней

звукопрозрачной пленки 24 из эластичной полиэстеровой пленки 49, толщиной 0,012 мм с введением взаимных адгезионных связей термопластичными волокнами между собой.

Рисунок 11 – Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{ЭКВ}}$ макетных образцов шумопоглощающих модулей конструктивно-технологического исполнения с монолитным пористым звукопоглощающим слоем (А) – 90 и содержащего обособленные дробленные фрагментированные звукопоглощающие элементы (Б) – 22.

Из представленных результатов экспериментальных акустических исследований следует, что дробленные структуры пористых звукопоглощающих материалов обладают на 22% более высокими звукопоглощающими свойствами в сравнении с их монолитными исполнениями идентичной структуры и массы пористого звукопоглощающего вещества. Разработанные и изготовленные макетные образцы шумопоглощающих модулей позволяют обеспечивать высокие звукопоглощающие свойства в ограниченных габаритных размерах их конструктивно-технологических исполнений. Эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{ЭКВ}}$ в частотном диапазоне 1/3 – октавных полос с центрами 0,4...10,0 кГц находится в диапазоне 1...1,6 м². Введение взаимных адгезионных связей между контактирующими частями составных конструктивных элементов макетных образцов шумопоглощающих модулей вызывает незначительное увеличение параметра эквивалентной площади звукопоглощения $A_{\text{ЭКВ}}$ в частотном диапазоне 1,3...10,0 кГц. Применяемый конструкционный материал звукопрозрачной пленки толщиной 0,012 мм следует признать пригодным для использования в качестве составного элемента шумопоглощающего модуля, как достаточно звукопрозрачного (обладающего слабым звукоотражающим эффектом), незначительно влияющим на звукопоглощающие свойства шумопоглощающего модуля.

6 Охрана труда оператора дизель-генераторной установки

Перед тем, как перейти к самостоятельной работе, оператор дизель-генераторной установки обязан пройти теоретическое и практическое обучение с проверкой знания и присвоением III квалификационной группы по электробезопасности. Также он должен пройти медосмотр перед назначением и повторно 1 раз в 2 года.

Перед началом работ оператору необходимо проверить на соответствие СИЗ, которыми являются: наушники противошумные, полукомбинезон из смешанных тканей для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, ботинки юфтевые на маслобензостойкой подошве, перчатки комбинированные или перчатки с полимерным покрытием, перчатки диэлектрические (дежурные), боты диэлектрические (дежурные), очки защитные открытые, средство индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующее. Выдаваемые СИЗ должны быть подобраны по полу, росту, размерам и не сковывать движения. Также необходимо проверить наличие противопожарных средств, техническую исправность элементов агрегата, особенно исправность средств, обеспечивающий безопасную эксплуатацию, проверить заземление дизель-генераторной установки, правильность и надежность крепления электрических проводов и целостность их изоляции, затяжку болтовых соединений, надежность крепления двигателя и генератора электростанции, заправку систем питания, смазки и охлаждения.

Во время работы оператор дизель-генераторной установки должен следить за тем, чтобы не было течи топлива и масла в соединениях трубопроводов, следить за исправностью ограждения вентилятора, контролировать настройку холостого хода, герметичность пробки топливного бака, надежность соединения провода со свечой, состояние генератора.

При работе дизель-генераторной установки на оператора воздействуют следующие опасные вредные производственные факторы:

- движущиеся части генератора;
- повышенная температура поверхности ДГУ;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный шум, вибрация;
- физические нагрузки;
- возможность возникновения пожара в связи с использованием в качестве топлива легковоспламеняющейся жидкости;
- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны пыли и вредных веществ;
- повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

7 Экономический раздел

Для того, чтобы доказать, что макетные образцы шумопоглощающих модулей эффективнее существующих разработок не только с точки зрения своих звукопоглощающих свойств, но и экономически выгодны, произведем расчеты, взяв за основу стандартно отводимое помещение на производстве для дизель-генераторной установки, средняя площадь которого равна 40 м^2

1. Если выбор падает на отдельную постройку здания для дизель-генераторной установки, то примерная цена помещения будет равна 900 тысяч рублей. Цена столь высока, так как здание должно функционировать круглый год, что ведет к дополнительным затратам.

2. Если обращаться в строительную фирму, специализирующуюся на подготовке помещения под ключ, для оснащения внутри дизель-генераторных установок, то примерная цена работы за квадратный метр будет равна 5 тысяч рублей. Также нужно учесть, что в основном используются дешевые и не экологичные материалы, такие как пенопласт, битумные материалы на основе защитной алюминиевой фольги, звукоизоляционную ленту, сделанную из вспененного (пористого) химически сшитого пенополиэтилена и т.д. Итого примерная стоимость помещения будет составлять 200 тысяч рублей.

3. Если использовать точечные методы, описанные ранее, то сложив цену амортизаторов (40 тысяч), защитного кожуха (90 тысяч), глушителя (30 тысяч) и программируемые жалюзи (35 тысяч), мы получим стоимость равную 195 тысяч рублей.

Сосчитав же все составляющие и комплектующие макетных образцов шумопоглощающих модулей, мы получили цену равную 2,5 тысяч рублей с учетом монтажа. Дополнительным преимуществом можно считать легкость и быстроту установки, так как модули стен собираются за 8 часовой рабочий день. Итого стоимость подготовки стандартно отводимого помещения на производстве для дизель-генераторной установки, средняя площадь которого

равна 40 м² будет равна 100 тысяч рублей. Таким образом рассчитанная стоимость несомненно превосходит все выше перечисленные методы по экономическим показателям, и можно сделать вывод, что данная разработка не только эффективна, но и экономически выгодна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заявленное в бакалаврской работе техническое устройство направлено на устранение выявленных и проанализированных недостатков аналогов в отношении простоты его технической реализации, технологичности, экологичности, стоимости и эффективности функционирования, с обеспечением эффекта расширения частотного диапазона снижения звукового излучения, производимого дизель-генераторной установкой, установленной в техническом помещении.

Реализация промышленного производства инновационного технического решения, представленного в виде разработанных акустических модулей, производимых из полимерных отходов, позволит эффективно решать технические, экономические и социальные проблемы. Так же решается не мало важная проблема снижения загрязнения окружающей среды полезно используемыми твердыми отходами за счет применения в качестве исходных сырьевых звукопоглощающих веществ технологических твердых отходов производства, причем не только в виде продуктов утилизации пористых воздухопродуваемых, но и утилизации твердых отходов в виде непористых воздушнонепродуваемых структур полимерных материалов, деталей и узлов технических объектов, завершивших свой жизненный цикл, путем их соответствующего фрагментного механического дробления, исключая применение «экологически грязных» технологий термохимических преобразований и/или энергетической утилизации путем сжигания или захоронения в мусорниках твердых полимерных отходов.

Достоверность разработок бакалаврской работы подтверждается многочисленными апробационными публикациями по теме исследовательской работы в научных сборниках трудов всероссийских конференциях, дипломами Всероссийских и международных конкурсов, а также соавторством полученного патента на изобретение (копии прилагаются, приложение А...У).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тупов, В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования: учебное пособие для вузов по направлению «Теплоэнергетика» [Текст] / Тупов В.Б. - М.: Издательство МЭИ, 2005. – 232 с.
- 2 Лазарону, Д.Ф., Бикир, Н.Л. Шум электрических машин [Текст] / Лазарону, Д.Ф., Бикир, Н.Л. - М.: «Энергия», 1973. - 271 с.
- 3 Тупов, В.Б., Чугунков, Д.В., Беляков, М.В. Опыт снижения экраном уровня шума силовых трансформаторов. Электрические станции [Текст] Тупов, В.Б., Чугунков, Д.В., Беляков, М.В. - М.: №10, 2010. - 110 с.
- 4 Скрябина, Л.Б. Справочник по контролю промышленных шумов [Текст] / Скрябина, Л.Б. - М.: Машиностроение, 1979. - 447 с.
- 5 Юдин, Е.Я. Борьба с шумом на производстве. Справочник [Текст] / Юдин, Е.Я – М.: 1985. - 400 с.
- 6 Хекл, М.А., Мюллер, Х.А. Справочник по технической акустике [Текст] / Хекл, М.А., Мюллер, Х.А. – М.: Ленинград, Судостроение, 1980. - 440 с.
- 7 ГОСТ 12.1.003 – 83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [Текст]. Введ. 1983–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – IV, 10 с.
- 8 Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом [Текст] – М.: Логос, 2010. – 424 с.
- 9 Helmut, V.F, Shallabsorber und Shalldampfer [Текст] / Helmut, V.F – М: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004, 2007.- 546 с.
- 10 Palanisamy Sivaprakash and Murugesan Sakthivel, A Comparative Study on Safety and Security Management Systems in Industries [Текст] / – American Journal of Environmental Sciences, Volume 6, Issue 6 Pages 548-552
- 11 С. Easwarlal, V. Palanisamy and M.Y. Sanavullah, Optimum Full Load Losses of a Transformer by Graphical Method. - International Journal of Electrical and Power Engineering [Текст] / 2007, Volume 1, Issue: 3., Page 359-362.

12 S. Sudha and A. Ebenezer Jeyakumar, PSOWNN Based Relaying for Power Transformer Protection - International Journal of Electrical and Power Engineering [Текст] / 2009, Volume 3, Issue: 3., Page 140-149.

13 Zakir Husain, Recent Trends in Power Transformer Fault Diagnosis and Condition Assessment. - Buletin Teknik Elektro dan Informatika [Текст] / 2(2)95-104 DOI. Publisher: Universitas Ahmad Dahlan, 2013.

14 Hu Cheng-Bo, Wang You-Yuan, Life Estimation of Power Transformers Based on Information Management System [Текст] / - Information Technology Journal, 12(17)3986-3990. Publisher: Asian Network for Scientific Information. 2013.

15 ППР 2014. Правила противопожарного режима в Российской Федерации [Текст]. Введ. 2014-03-06. – М.: Омега-Л, 2014. – 87 с. - ISBN: 978-5-370-03251-6.

16 Министерство Энергетики РФ. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00. [Текст] / Министерство Энергетике Российской Федерации. – Санкт-Петербург.: издательство ОАО «Барс», 2010. – 151 с.

17 Министерство Энергетики РФ. Методические указания по разработке правил и инструкций по охране труда, утвержденные постановлением Минтруда РФ № 1/29 от 01.07.03 г.: № 27 [Текст] / Введен 2004.28.03. М.: Санкт Петербург, 2004. – 99 с.

18 Промышленная безопасность и охрана труда [Текст] / (Сборник нормат. Документов). – Екатеринбург: Урал.юрид. изд-во, 2003. – 255 с.

19 Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под ред. Юдина Е.Я., Машиностроение, М., 1985, 400 с.

20 Справочник по контролю промышленных шумов. Перевод с англ. Л.Б. Скрябиной и Н.И. Шабановой, М., Машиностроение, 1979. – 447 с.

