



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

Зав. кафедрой «УПиЭБ»

Л.Н. Горина

(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение бакалаврской работы**

Студент Жданов Станислав Александрович

1. Тема Разработка технических устройств ослабления акустического излучения электротрансформаторной подстанции закрытого типа

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 14.06.2016

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе технологические карты, перечень оборудования, планировка рабочих мест, планы ликвидации аварийных ситуаций, план мероприятия по улучшению условий и охраны труда, проект образования и размещения отходов, результаты аналитического контроля за состоянием окружающей среды, планировки зданий, план эвакуации и т.д.

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

Реферат

Терминологические определения

Обозначения и сокращения

Введение

1. Глава 1. Нормативные требования предъявляемые к силовым электротрансформатора в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности

1.1. Пожарная безопасность СЭТ

1.2. Акустическая безопасность СЭТ

2. Глава 2. Аналитический информационный обзор источников виброакустических излучений СЭТ и используемых способов и технических устройств их уменьшения

3. Информационный патентный анализ известных технических средств (способов, технических устройств) уменьшения шумовых излучений СЭТ

4. Информационный патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов ПЭТ-тары

5. Разработка конструктивных концептуальных схем эффективных технических устройств уменьшения шумовых излучений СЭТ в составе электротрансформаторных подстанций закрытого типа

- 5.1. Критический анализ известных технических приемов уменьшения шумовых излучений
- 5.2. Критический анализ известных технических приемов рециклированной утилизации твердых полимерных отходов ПЭТ-тар
- 5.3. Выбор эффективных концептуальных схем технических средств уменьшения звуковых излучений, базирующихся на применении акустических резонаторов Гельмгольца R, представленных используемыми утилизируемыми пустотелыми бутылочными ёмкостями ПЭТ-тары
- 5.4. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот  $f_r$  типичных используемых утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ-тары
- 5.5. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот  $f_r$  преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ-тары, использующих адаптерные элементы частотной настройки на доминирующие спектральные составляющие шумового излучения силового электротрансформатора
- 5.6. Разработка составных конструктивных элементов и компоновочных схем монтажа, в составе преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца R, утилизируемых пустотелых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, в вентиляционных и дверных проемах помещения электротрансформаторной подстанции зарытого типа
6. Анализ экономических и экологических показателей использования разработанных технических средств уменьшения шумовых излучений ЭТП закрытого типа.

Заключение

Список используемых источников

Приложение

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала
  1. Общий вид электротрансформаторной подстанции закрытого типа (встроенного, автономного)
  2. Техническое устройство заглушения электротрансформаторного шума, базирующееся на использовании акустических резонаторов Гельмгольца
  3. Глушитель шума, выполненный в виде акустического резонатора Гельмгольца, образованный утилизируемой бутылочной емкостью ПЭТ-тары.
  4. Расчетные параметры частотонастроенных акустических резонаторов Гельмгольца R, использующих утилизируемую ПЭТ-тару с установленными внутренними трубчатыми удлинителями горловых частей
  5. Сблокированная модульная акустическая панель, образованная семейством резонаторов
  6. Схема модифицированной конструкции звукопоглощающего входного проема (входной двери), оборудованной модульной акустической панелью.
  7. Сечение прямого вентиляционного проема, содержащего объемную расширительную камеру, в полости которой смонтированы сгруппированные акустические панели
  8. Схема открытого вентиляционного канала, снабженного глушителями шума
6. Консультанты по разделам: нормоконтроль – А.Г.Егоров
7. Дата выдачи задания « 20 » мая 2016 года

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_  
(подпись) М.И. Фесина  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись) С.А.Жданов  
(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

Зав. кафедрой «УПиЭБ»

Л.Н. Горина

(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**выполнения бакалаврской работы**

Студента Жданова Станислава Александровича  
по теме Разработка технических устройств ослабления акустического излучения  
электротрансформаторной подстанции закрытого типа

| Наименование раздела работы  | Плановый срок выполнения раздела | Фактический срок выполнения раздела | Отметка о выполнении | Подпись руководителя |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Реферат.<br>Терминологические определения.   | 21.05.16-<br>21.05.16            | 21.05.16                            | Выполнено            |                      |
| Обозначения и сокращения.<br>Введение.   | 21.05.16-<br>22.05.16            | 22.05.16                            | Выполнено            |                      |
| Глава 1. Нормативные требования предъявляемые к СЭТ в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности.<br>1.1. Пожарная безопасность СЭТ.<br>1.2. Акустическая безопасность СЭТ. | 23.05.16-<br>27.05.16            | 27.05.16                            | Выполнено            |                      |
| 2. Глава 2. Аналитический информационный обзор источников виброакустических излучений СЭТ и используемых способов и  | 28.05.16-<br>30.05.16            | 30.05.16                            | Выполнено            |                      |

|  |                   |          |           |  |
|--|-------------------|----------|-----------|--|
| технических устройств их уменьшения  |                   |          |           |  |
| 3. Информационный патентный анализ известных технических средств (способов, технических устройств) уменьшения шумовых излучений СЭТ. Информационный патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов ПЭТ-тары  | 31.05.16-01.06.16 | 01.06.16 | Выполнено |  |
| 4. Разработка конструктивных концептуальных схем эффективных технических устройств уменьшения шумовых излучений СЭТ в составе электротрансформаторных подстанций закрытого типа Критический анализ известных технических приемов уменьшения шумовых излучений. Критический анализ известных технических приемов рециклированной утилизации твердых полимерных отходов ПЭТ-тар. | 02.06.16-07.06.16 | 07.06.16 | Выполнено |  |
| 5. Выбор эффективных концептуальных схем технических средств уменьшения звуковых излучений, базирующихся на применении акустических резонаторов Гельмгольца R, представленных используемыми утилизируемыми пустотельными бутылочными ёмкостями   | 07.06.16-08.06.16 | 08.06.16 | Выполнено |  |

|   |                       |          |           |  |
|---|-----------------------|----------|-----------|--|
| ПЭТ-тары.   |                       |          |           |  |
| 6. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот $f_r$ типичных используемых утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ-тары. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот $f_r$ преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ- тары, использующих адаптерные элементы частотной настройки на доминирующие спектральные составляющие шумового излучения силового электротрансформатора. | 08.06.16-<br>09.06.16 | 09.06.16 | Выполнено |  |
| 7. Разработка составных конструктивных элементов и компоновочных схем монтажа, в составе преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца R, утилизируемых пустотелых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, в вентиляционных и дверных проемах помещения электротрансформаторной подстанции зарытого типа  | 09.06.16-<br>09.06.16 | 09.06.16 | Выполнено |  |
| 8. Анализ экономических и экологических показателей использования разработанных технических средств уменьшения шумовых излучений ЭТП закрытого типа.  | 09.06.16-<br>10.06.16 | 10.06.16 | Выполнено |  |

|                                  |                       |          |           |  |
|----------------------------------|-----------------------|----------|-----------|--|
| Заключение                       | 10.06.16-<br>10.06.16 | 10.06.16 | Выполнено |  |
| Список использованной литературы | 10.06.16-<br>11.06.16 | 11.06.16 | Выполнено |  |
| Приложения                       | 11.06.16-<br>13.06.16 | 13.06.16 | Выполнено |  |

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_  
(подпись) М.И. Фесина  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись) С.А.Жданов  
(И.О. Фамилия)

## РЕФЕРАТ

Отчет 69 с., 5 рис., 2 табл., 30 источников, 6 прил.

Ключевые слова: Электротрансформаторная подстанция, силовой электротрансформатор, акустическое излучение, акустический резонатор, утилизируемая бутылочная ПЭТ-тара.

Объектом исследования являются электротрансформаторная подстанция закрытого типа.

Цель работы – уменьшения шумового излучения, производимого силовыми электротрансформаторными подстанциями закрытого типа, посредством интеграции акустических резонаторов в её составные элементы, изготовленных из модифицированной ПЭТ-тары.

Актуальной научно-технической и важной социальной проблемой является необходимость экологически чистой и экономически оправданной утилизации конструктивных материалов, представленных в виде твердых полимерных отходов, возникающих при утилизации технических объектов, завершивших свой жизненный цикл, а также утилизации производственно-технологического брака и отходов полимерных материалов (деталей и узлов машин, изготовленных из полимерных материалов).

Научно-техническая разработка предусматривает проведение модификационного преобразования утилизируемых бутылочных ёмкостей ПЭТ-тары в оригинальные частотонастроенные шумозаглушающие устройства (глушители шума) в виде акустических резонаторов Гельмгольца.

Научно-техническая разработка характеризуется комплексным, экологически чистым, экономически выгодным и социально значимым техническим решением утилизации паразитной акустической энергии («электротрансформаторного гула»), а также материало-энергетической утилизации твердых полимерных отходов полиэтилентерафталата (ПЭТ - тары).



## ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Звукопоглощение – физический процесс необратимого диссипативного перехода колебательной механической (волновой) энергии, распространяемой в упругой среде звуковой волны, в тепловую энергию. Оценивается в условных единицах коэффициентом звукопоглощения (нормальным -  $\alpha_n$  и реверберационным -  $\alpha_r$ ) и/или эквивалентной площадью звукопоглощения ( $A$  в  $m^2$ ).

Звукоизоляция. Термин «звукоизоляция» употребляется для обозначения трех технических (физических) характеристик и относится непосредственно к самой акустической (шумопонижающей) конструкции, к комплексному физическому процессу поглощения и отражения звуковых волн акустической конструкцией и к количественной оценке изменения (ослабления) передачи акустического излучения (численного изменения параметров физического процесса энергетической передачи акустического излучения), вносимого используемой акустической конструкцией. Является мерой изоляции звука экранной перегородкой, стеной или панелью, выраженной в дБ.

Звукопрозрачность – физическое свойство конструкций, отдельных элементов конструкций (пластин, оболочек, пленок) пропускать звуковую волну без существенного ослабления ее энергии (без существенного отражения в направлении противоположном распространению от источника излучения). Количественно звукопрозрачность характеризуется коэффициентом прохождения звука. Конструкция считается звукопрозрачной если вносимое ею ослабление передачи звуковой энергии не превышает 10%.

Перфорированное отверстие (отверстия перфорации)– одно или несколько сквозных отверстий заданной (как правило – идентичной) геометрической формы и габаритных размеров (площади проходного сечения), расположенных друг относительно друга и/или относительно другого близкорасположенного конструктивного элемента детали (узла) на

заданном расстоянии. Перфорация – от латинского perforato – пробиваю, прокалываю – технологический процесс выполнения сквозных отверстий заданных размеров, расположенных соответствующим образом в структуре стенки изготавливаемой детали (узла).

Коэффициент перфорации– отношение суммарной площади отверстий перфорации к общей площади лицевой поверхности стенки (структуры детали) которая была подвергнута процедуре перфорирования (до момента ее перфорирования).

Дифракция звука – физическое свойство, характеризующее отклонение поведения распространения звука от законов геометрической акустики, обусловленное волновой природой распространения звука, в частности, вызывающее явление загибания распространяемых звуковых волн, в область звуковой тени позади огибаемого звукоотражающего препятствия по габаритам большего по сравнению с длиной распространяемой звуковой волны.

Эквивалентная площадь звукопоглощения – оценочный технический параметр звукопоглощающих свойств плосколистовых образцов материалов или полномасштабных неплоских объемных шумопоглощающих деталей, определяемый в условиях воздействия на них диффузного звукового поля, который сопоставляется с соответствующей эквивалентной площадью абстрактной плоской звукопоглощающей поверхности, обладающей 100% поглощением звуковой энергии. Реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_r=1,0$  усл.ед. количественно оценивается в м<sup>2</sup> площади плосколиствого образца, обладающего 100% поглощением звуковой энергию

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

$h_{\Gamma}$  - геометрическая длина горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м ( $h_{\Gamma} = h_{\Gamma 1} + h_{\Gamma 2}$ );

$h_{\Gamma 1}$  - геометрическая длина внутреннего участка внутреннего трубчатого удлинителя горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м;

$h_{\Gamma 2}$  - геометрическая длина внешнего участка внутреннего трубчатого удлинителя горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м;

$V_{\text{ПТ}}$  - воздушный объем полости емкостной ПЭТ-тары, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{К}}$  - воздушный объем полости камерной части акустического резонатора Гельмгольца, м<sup>3</sup> ( $V_{\text{К}} = V_{\text{ПТ}} + V_{\Gamma 1}$ );

$V_{\Gamma}$  - воздушный объем горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м<sup>3</sup> ( $V_{\Gamma} = V_{\Gamma 1} + V_{\Gamma 2}$ );

$V_{\Gamma 1}$  - фрагмент воздушного объема, вытесняемый из воздушного объема камерной части  $V_{\text{К}}$  внутренним участком внутреннего трубчатого удлинителя горловой части длиной  $h_{\Gamma 1}$ , включающий объем воздушной и структурной составляющей (материала стенки внутреннего участка внутреннего трубчатого удлинителя горловой части длиной  $h_{\Gamma 1}$ ), м<sup>3</sup>;

$V_{\Gamma 2}$  - фрагмент воздушного объема, ограниченный внешним участком внутреннего трубчатого удлинителя горловой части длиной  $h_{\Gamma 2}$ , м<sup>3</sup>;

$d_{\Gamma}$  - диаметр круглого проходного сечения внутреннего трубчатого удлинителя горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м;

$l_{\text{R}}$  - динамическая длина открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца R, м;

$k_{\text{ПТУ}}$  - коэффициент перфорации стенки внутреннего трубчатого удлинителя открытой горловой части;

$k_{\text{ПМ}}$  - коэффициент перфорации стенки горловой компоновочной матрицы;

$\alpha_{\text{н}}$  - нормальный коэффициент звукопоглощения, усл.ед.;

$\alpha_{\text{г}}$  - реверберационный коэффициент звукопоглощения, усл.ед.;

$A$  - площадь эквивалентного звукопоглощения,  $\text{м}^2$ ;

$R_1, R_2$  и  $R_3$  - акустические резонаторы Гельмгольца;

$F_r$  - площадь проходного сечения открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца (площадь проходного сечения внутреннего трубчатого удлинителя открытой горловой части),  $\text{м}^2$ ;

$H$  - габаритная высота камеры емкостной ПЭТ-тары (ПЭТ-бутылки),  $\text{м}$ ;

$k_n$  - проводимость горловой части акустического резонатора Гельмгольца,  $\text{м}$ ;

$c$  - скорость звука,  $\text{м/с}$ ;

$t^{\circ}\text{C}_{\text{ст}}$  - температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\pi=3,14$  ;

$f_R$  - собственная (резонансная) частота акустического резонатора Гельмгольца  $R$ ,  $\text{Гц}$ ;

$f_{R1}, f_{R2}, f_{R3}$  - значения собственных (резонансных) частот акустических резонаторов Гельмгольца  $R_1, R_2$  и  $R_3$ ,  $\text{Гц}$ ;

$f_c$  - промышленная частота сети переменного тока к которой подключен силовой электротрансформатор,  $\text{Гц}$ ;

$\varphi$  - фаза звуковых колебаний, град;

$\lambda$  - длина звуковой волны,  $\text{м}$ ;

$T$  - период колебаний,  $\text{с}$ ;

$m_r$  - масса воздуха, сосредоточенная в открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца  $R$  (включает, в том числе, динамическое удлинение  $m_r$ , с формированием динамической длины открытой горловой части  $l_{R3}$  за счет присоединенных к  $m_r$  воздушных масс, располагаемых по обе стороны открытого горлового среза);

$m_k$  - масса воздуха, сосредоточенная в камерной части акустического резонатора Гельмгольца  $R$  (при использовании внутреннего трубчатого удлинителя, размещенного в полости камерной части, его объем  $V_{Г1}$  вычитается из объема камерной части  $V_K$ ).

ПЭТ – полиэтилентерефталат, термопластик, твердое прозрачное вещество, применяется в качестве конструкционного материала для производства пластиковых емкостей, различной тары для хранения веществ, в данном случае – для производства бутылочной тары, которую по завершению жизненного цикла необходимо утилизировать.

СЭТ – силовой электротрансформатор.

КПД – коэффициент полезного действия.

ХХ – режим холостого хода, применяется при исследовании акустических характеристик СЭТ.

КЗ – короткое замыкание.

ПУЭ – правила устройств электроустановок.

ПТЭП – правила технической эксплуатации потребителей.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 16 |
| Глава 1. Нормативные требования предъявляемые к СЭТ в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности.....   | 18 |
| 1.1. Пожарная безопасность СЭТ.....  | 18 |
| 1.2. Акустическая безопасность СЭТ.....  | 19 |
| Глава 2. Аналитический информационный обзор источников виброакустических излучений СЭТ и используемых способов и технических устройств их уменьшения.....  | 22 |
| Глава 3. Информационный патентный анализ известных технических средств (способов, технических устройств) уменьшения шумовых излучений СЭТ.....   | 27 |
| Глава 4. Информационный патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов на примере утилизируемой бутылочной ПЭТ-тары.....   | 33 |
| Глава 5. Разработка конструктивных концептуальных схем эффективных технических устройств уменьшения шумовых излучений СЭТ в составе электротрансформаторных подстанций закрытого типа.....   | 39 |
| 5.1. Критический анализ известных технических приемов уменьшения шумовых излучений СЭТ.....  | 39 |
| 5.2. Критический анализ известных технических приемов рециклированной утилизации твердых полимерных отходов бутылочной ПЭТ-тары.....   | 39 |
| 5.3. Выбор эффективных концептуальных схем технических средств уменьшения звуковых излучений, базирующихся на применении акустических резонаторов Гельмгольца R, представленных используемыми утилизируемыми пустотелыми бутылочными ёмкостями ПЭТ-тары..... | 40 |
| 5.4. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот $f_R$ типичных используемых утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ-   |    |

|   |    |
|---|----|
| тары, представленных акустическими резонаторами Гельмгольца.....  | 45 |
| 5.5. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот $f_R$ преобразованных в частотонастроенные акустические резонаторы Гельмгольца утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ- тары, использующих адаптерные элементы частотной настройки на доминирующие спектральные составляющие шумового излучения силового электротрансформатора..... | 47 |
| 5.6. Разработка составных конструктивных элементов и компоновочных схем монтажа утилизируемых пустотелых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца, в вентиляционных и дверных проемах помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа.....   | 49 |
| Глава 6. Экономический раздел.....  | 60 |
| Заключение.....   | 65 |
| Список используемых источников.....   | 66 |
| Приложение.....   | 69 |

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-техническая разработка относится к техническим устройствам, предназначенным для уменьшения шумовых излучений СЭТ, смонтированных в составе электротрансформаторных подстанций, выполненных в виде закрытых помещений (зданий).

Низкошумная электротрансформаторная подстанция закрытого типа содержит в своем составе СЭТ, состоящий из активной части в виде магнитопровода и изолированных обмоток, охватываемых общим магнитным потоком, несущего каркаса и фундаментного основания, устройств ослабления акустического излучения активной части. Указанные составные узловые элементы смонтированы в воздушной полости помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа, образуемого полом, ограждающими панелями стеновых и потолочных перекрытий, дверным проемом со смонтированной входной дверью, открытыми вентиляционными каналами охлаждения активной части силового электротрансформатора. Устройства ослабления акустического излучения активной части СЭТ представлены глушителями шума, представленными акустическими резонаторами Гельмгольца, образованными утилизируемыми бутылочными емкостями ПЭТ-тары, содержащими камерные и открытые горловые части, со смонтированными в них внутренними трубчатыми удлинителями открытых горловых частей, содержащих внешний и внутренний участки, выполненными заданных габаритных размеров (длины, диаметра, площади проходного сечения). При этом, собственные (резонансные) частоты колебаний  $f_R$  используемых акустических резонаторов Гельмгольца - в два, или четыре, или в шесть раз превышают промышленную частоту сети переменного тока ( $f_c=50$  Гц), к которой подключен СЭТ. Частотно-резонансные настройки акустических резонаторов Гельмгольца, соответствуют значениям рабочих функциональных частот акустического излучения активной части СЭТ – 100,200 и 300 Гц. Частотно-резонансные настройки акустических резонаторов Гельмгольца определяются соответствующим исполнением их составных конструктивных



элементов, образованных преобразуемыми (модифицируемыми) утилизируемыми бутылочными емкостями ПЭТ-тары, в виде воздушного объема полости камерной части, геометрической длины и площади проходного сечения открытой горловой части, формируемых используемыми внутренними трубчатыми удлинителями, выполненных заданных габаритных размеров и смонтированных в открытых горловых частях утилизируемых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, рассчитанных с учетом эксплуатационной температуры воздуха, установившейся в воздушной полости помещения (здания) электротрансформаторной подстанции закрытого типа.

В работе предложены многочисленные технические приемы дополняющего или альтернативного использования разнообразных модифицированных конструктивных усовершенствований повышающих эффективность функционирования акустических резонаторов R и обеспечивающих стабилизацию создаваемых ими эффектов заглушения акустической энергии, базирующиеся на уменьшении их чувствительности к частотной расстройке под воздействием потенциального изменения внешних факторов (температурного состояния воздушной среды, эксплуатационных параметров функционирования СЭТ).

В работе приведены разнообразные сочетания и разновидности предлагаемых к применению конструкционных материалов, установлены эффективные диапазоны изменения их структурных составов и физических параметров способствующие решению целевой задачи бакалаврской работы в виде разработки технического устройства «Низкошумная электротрансформаторная подстанция закрытого типа».

Данная разработка направлена на эффективную утилизацию «паразитной» звуковой энергии (электротрансформаторного шума) на селитебных территориях, а также на реализацию технических решений по уменьшению загрязнения окружающей среды твердыми полимерными отходами, в частности, твердых полимерных отходов утилизируемой бутылочной полиэтилентерефталатной тары (ПЭТ-тары).

# Глава 1. Нормативные требования предъявляемые к СЭТ в отношении их конструктивной и эксплуатационной безопасности

## 1.1. Пожарная безопасность СЭТ

Возможность возникновения пожара в различного типа эксплуатируемых электроустановках, в данном случае - электротрансформаторной подстанции закрытого типа, достаточно мала, однако последствия от такого инцидента могут быть внушительными. Пожары на электротрансформаторной подстанции могут нарушить обыденную жизнь человека, а предприятия могут понести значительные убытки. Подготовленность организационно-технических мероприятий к предупреждению и тушению пожара в электроустановке, в виде своевременной профилактики и соблюдения противопожарных требований, позволяют снизить риск их появления и уменьшить материальные потери последствия пожара.

По статистике, основными причинами пожара, возникающими на электротрансформаторных подстанциях, являются воспламенение силовых электрических кабелей при КЗ, возгорание масла в конструкции радиатора СЭТ, из-за неэффективного гашения электрической дуги в высоковольтных выключателях, а так же ремонтно-монтажные работы, которые производятся непосредственно с СЭТ (сварка, резка).

Наиболее подвержены возгораниям в электротрансформаторной подстанции электросиловые кабельные линии находящиеся под напряжением. Вся электрическая проводка (высоковольтные провода) от электротрансформаторной подстанции до распределительного щита должна иметь негорючую изоляцию и должна быть неподвижно зафиксирована в огнестойких каналах раздельного типа. Все линии электропередач должны иметь системы автоматического отключения при перегрузке или КЗ.

Для того, чтобы рабочий обслуживающий персонал, который находится рядом с электротрансформаторной подстанцией, успел оперативно эвакуироваться в случае возникновения аварии, электропроводка, подведенная к техническим устройствам обеспечения пожарной безопасности, дополнительно оборудуется огневой защитой, чтобы она смогла сохранить свою работоспособность (изоляционные свойства) во время пожара.

При любых огневых ремонтно-монтажных работах, производимых внутри помещения электротрансформаторной подстанции, где возможно появление искр, плавление материала, например при сварке, сверлении, резке, должны соблюдаться правила соответствующие правилам противопожарного режима Российской Федерации.

С целью соблюдения предъявляемых нормативных требований пожарной безопасности («О противопожарном режиме» № 390, ПУЭ и ПТЭП) в составе разработанной концептуальной схемы технического устройства, могут дополнительно применяться антипирены – вещества или смеси веществ, предохраняющих от самостоятельного воспламенения и горения конструкционных материалов органического происхождения. Предлагаемые к применению распространенные антипирены – гидроксид алюминия, соединения бора, сурьмы, хлоридов, органические и неорганические соединения фосфора.

## 1.2. Акустическая безопасность СЭТ

СЭТ являются значимыми источниками акустического загрязнения окружающей среды (открытых пространств, смежных помещений строительных зданий), характеризуемого в виде низкочастотного «электротрансформаторного гула», звуковая энергия которого сосредоточена на трех гармонических составляющих – 100, 200, 300 Гц, кратных промышленной частоте сети переменного тока (50 Гц).

Уровень акустического излучения магнитной системы СЭТ зависит от конструкции, марки стали и технологического процесса изготовления и сборки магнитной системы.

Помимо шума, который вызван магнитострикционными силами, имеются механические колебания (вибрации) составных частей электротрансформатора – охладителей, стенок масляного бака, расширителя, трубопроводов.

Низкий уровень шума систем охлаждения СЭТ достигается путем снижения скорости вращения лопастей вентиляторной установки, виброизоляции корпуса, оптимизации аэродинамических и акустических характеристик воздушных потоков на входе и выходе вентиляционных каналов (проемов) помещения (здания) электротрансформаторной подстанции закрытого типа. Чтобы поглотить вибрацию, создаваемую масляным баком, его устанавливают на демпфирующие элементы.

Повышенный уровень вибрации корпусных элементов СЭТ может представлять угрозу механического разрушения его отдельных частей. Чтобы исключить этот фактор, в них интегрируют специальные элементы для увеличения жесткости конструкции СЭТ, изготовленные из керамики, например из фарфора.

Нормы допустимого уровня шума определяются ГОСТ 12.2.024-87 «ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля» [7].

В частности, для СЭТ мощностью 125 МВ-А, находящегося под электрическим напряжением 220 кВ, максимально-допустимый уровень акустической мощности составляет 105 дБА.

Для уменьшения шума уже смонтированных трансформаторных подстанций устанавливают дополнительные звуковые (акустические, шумозащитные) экраны рядом с электротрансформаторной подстанцией. С помощью такого типа экранных устройств, можно уменьшить уровень шума на 10-15 дБА [22].



## Глава 2. Аналитический информационный обзор источников виброакустических излучений СЭТ и используемых способов и технических устройств их уменьшения

Механические колебания активной части СЭТ обусловлены переменными магнитострикционными и электромагнитными силами, возникающими в магнитной системе и переменными динамическими силами в изолированных обмотках. При этом доминирующей виброшумовозбуждающей силой является магнитострикционная составляющая [2]. В сетях переменного тока с промышленной частотой  $f_c=50$  Гц при значениях индукции более 1,4 Тл магнитострикционная составляющая проявляется на кратных ей гармониках  $f_1=2f_c=100$  Гц,  $f_2=4f_c=200$  Гц и  $f_3=6f_c=300$  Гц. При перемагничивании активной части магнитной системы электротрансформаторов индукция в ней достигает максимума дважды за один период частоты сети переменного тока, что соответствует двукратному динамическому изменению длины стальных листов магнитопровода (магнитной системы). Этим, в частности, и обусловлены периодические колебания магнитной системы с удвоенной частотой ( $f_1=2f_c=100$  Гц) по отношению к частоте сети переменного тока ( $f_c=50$  Гц) и сопутствующими ей кратными гармониками  $f_2=4f_c=200$  Гц и  $f_3=6f_c=300$  Гц.

Совместно с силами магнитострикционного происхождения, магнитная система (магнитопровод) испытывает динамическое воздействие сил магнитного происхождения. В особенности, это проявляется в стыковых соединениях стальных листов шихтованного магнитопровода, когда магнитный поток вынужден перетекать из листа в лист в воздушном или масляных зазорах, образующихся за счет неплотной стыковки стальных листов друг с другом. При этом возникают переменные поперечные силы, вызывающие изгибные колебания стальных листов, сопровождающихся

вибраакустическими возбуждениями и излучением шума («паразитного низкочастотного электротрансформаторного гула»). При значениях индукции меньше 1,4 Тл становится существенным шумовое излучение, производимое непосредственно изолированными обмотками, проводники которых вибрируют под действием сил взаимного притяжения при прохождении в них переменного тока. Генерирующими звук поверхностными зонами в этих случаях являются преимущественно торцевые части изолированных обмоток, прессующие кольца, ярмовые балки, крепежные детали.

Существенное влияние на усиление шумового излучения силового электротрансформатора могут оказывать также возникающие динамические резонансные явления, проявляющиеся в виде механических колебаний (вибраций), его составных частей – охладителей, стенок масляного бака, расширителя, трубопроводов.

Радиаторы системы охлаждения могут также являться значимыми структурными источниками шумового излучения вследствие больших поверхностей звукоизлучения и возможных возникновений (возбуждений) резонансных механических колебаний отдельных деталей охладителя, передачи вибрации от масляного бака, в то время как маслососы, используемые в системах охлаждения, как правило, не оказывают какого-либо значимого влияния на результирующее звуковое поле электротрансформаторной подстанции. Передача вибрационной энергии от активной части силовой электротрансформатора к стенкам бака происходит твердыми путями передачи - через опоры либо через элементы крепления активной части к баку, а также через находящееся в нем охлаждающее масло. В составе электротрансформаторной подстанции, наряду с тонкостенными, пластинчатого типа вибрирующими частями масляного бака, шумогенерирующими элементами могут являться закрепленные на баке лестницы, трубопроводы, расширители. Входящие в состав электротрансформаторной подстанции закрытого типа устройства вентиляционного охлаждения активной части силового

электротрансформатора, представленные системами охлаждения с естественной или принудительной циркуляцией воздушных потоков, содержащие открытые вентиляционные каналы, также являются интенсивными источниками и непосредственными путями передачи в окружающую среду паразитных низкочастотных шумовых излучений («электротрансформаторного гула»).

Типичные известные конструктивно-технологические приемы уменьшения шумовых излучений СЭТ заключаются в реализации следующих мероприятий:

- обеспечение малошумности внутренних источников виброакустических излучений и, в первую очередь, - активной части (магнитопровода с изолированными обмотками) и устройств вентиляционного охлаждения силового электротрансформатора;

- использование эффективных устройств виброизоляции металлоконструкции бака от источников динамического (вибрационного) возбуждения – активной части и устройств вентиляционного охлаждения силового электротрансформатора;

- устранение собственных механических колебательных резонансов стенок бака и навесных элементов, расположенных на баке, путем изменения их жесткостных характеристик, введения дополнительных диссипативных вибродемпфирующих покрытий на тонкостенных элементах, использования настроенных динамических гасителей колебаний;

- применение дополнительных звукоизолирующих и звукопоглощающих устройств (ограждений) в виде шумоизолирующих кожухов и экранов, акустических капсул, однослойных пористых звукопоглощающих облицовок, многослойных слоистых комбинированных панелей, представленных чередующимися плотными звукоотражающими и пористыми звукопоглощающими слоями;

- ослабление передачи вибрационной энергии твердыми путями через опорные профили элементов рамы и каркаса крепления корпуса



электротрансформатора через его фундаментное основание на присоединенные элементы ограждающих панелей стен, пола, потолка (крыши) помещения (здания) электротрансформаторной подстанции и/или на соответствующие смежные примыкающие строительные конструкции производственного, общественного или жилого помещения, в составе которого он находится, достигаемой путем устранения (ослабления) жестких (твердых) динамических связей со строительными конструкциями помещения (здания), включая применение фундаментного основания большой массы (по меньшей мере, в 10 раз большей, чем масса установленного на нем силового электротрансформатора), использованием высокоэффективных, присоединенных к элементам силового электротрансформатора, конструкций виброизоляторов, вибродемпферов и динамических виброгасителей[3].

Силовой электротрансформатор, в составе электротрансформаторной подстанции, может находиться в открытом для окружающей среды виде (располагаться на открытых пространствах). Также он может находиться в закрытом (изолированном) автономном помещении (здании) замкнутого типа, выполненного например, в виде металлической акустической капсулы или строительного сооружения (кирпичного, из железобетонных блоков). Также, такого типа электротрансформаторная подстанция, может быть представлена в виде встроенного закрытого (изолированного) помещения, входящего в состав производственного, общественного или жилого здания, содержащего сборные крупнопанельные (железо-бетонные, каркасно-металлические, крупноблочные монолитные или ручной кирпичной кладки) конструктивно-технологические исполнения ограждающих панелей стен (стеновых перегородок, пола, потолочного перекрытия) помещения здания электротрансформаторной подстанции закрытого типа. Такого типа электротрансформаторная подстанция носит название электротрансформаторная подстанция закрытого типа. Шумовое излучение силового электротрансформатора в составе электротрансформаторной

подстанции закрытого типа по сравнению с подстанцией открытого типа характеризуется уменьшенной интенсивностью акустической энергии передаваемой в окружающую среду (на прилегающие жилые территории, в смежные помещения строительного сооружения здания). Однако, вследствие доминирующего характера низкочастотного шумового излучения СЭТ ( $f=100...300$  Гц), проявляющегося в виде «электротрансформаторного гула» и обладающего, как известно, высокой проникающей способностью, с его интенсивным распространением на большие расстояния без заметной доли диссипативного поглощения акустической энергии, звукоизолирующая способность типичных ограждающих конструкций электротрансформаторных подстанций закрытого типа не всегда является достаточной (эффективной). В особенности, это относится к конструктивным элементам, характеризующимся не только слабыми звукоизолирующими свойствами, но и способствующими усиленной передаче акустической энергии из замкнутого пространства помещения (здания) электротрансформаторной подстанции, как в окружающую среду, так и в смежные помещения строительного сооружения здания (тонкостенные панельные элементы, слабая звукоизоляция уплотнителей, открытые волноводные звукопередающие каналы). В первую очередь это относится к дверным проемам и открытым вентиляционным каналам (проемам) помещения (здания) электротрансформаторной подстанции закрытого типа.

### Глава 3. Информационный патентный анализ известных технических средств (способов, технических устройств) уменьшения шумовых излучений СЭТ

Известны устройства СЭТ, оборудованные теми или иными техническими средствами подавления (уменьшения) шумовых излучений СЭТ, производимых преимущественно их активной частью, образованной магнитопроводом и изолированными обмотками, охватываемых общим магнитным потоком. Используемые технические устройства уменьшения шумовых излучений, производимых СЭТ, относятся как к конструктивным усовершенствованиям непосредственно составных элементов силового электротрансформатора, так и к использованию усовершенствованных конструкций внешних автономных замкнутых помещений (зданий), в которых располагаются силовые электротрансформаторы, с образованием низкошумных электротрансформаторных подстанций закрытого типа [4].

Известен, в частности, однофазный броневой СЭТ по патенту РФ на изобретение RU 2208859, в котором уменьшение его шумового излучения обеспечивается выбором специальной геометрической формы поперечного сечения сердечников, обеспечивающей их более плотное прилегание друг к другу в собранном магнитопроводе, использованием соответствующей конструкции стяжки и бандажа.

Известно также введение в состав конструкций СЭТ различного типа вибродемпфирующих, звукопоглощающих и звукоизолирующих элементов как это, в частности, представлено в патентах на изобретения Великобритании – GB 984626 (публ. 03.03.1965), GB 971765 (публ. 07.10.1964), GB 925522 (публ. 08.05.1963), GB 1094618 (публ. 13.12.1967).

Конструктивно-технологические усовершенствования внешних ограждающих стенок замкнутых помещений (зданий) электротрансформаторных подстанций, в которых располагаются СЭТ (вариантное исполнение электротрансформаторной подстанции закрытого типа), известны, в частности, из следующих технических решений:

- патента на изобретение Японии JP 55-53403 (публ. 16.10.1978);
- патента на изобретение Японии JP 54-154031 (публ. 25.05.1978);
- патента на изобретение Японии JP 52-20241 (публ. 02.06.1977);
- заявки на изобретение Германии GE 1563124 (публ. 02.01.1970);
- патента на изобретение Франции FR 1259792 (публ. 20.03.1961);
- Европейского патента на изобретение EP 0074521 (публ. 23.03.1983)

Согласно приведенным выше патентам на изобретения рассматриваются, в частности, технические решения, направленные на рационализацию геометрических форм и/или введение дополнительных ужесточающих элементов ограждающих стенок помещений (зданий) электротрансформаторных подстанций, использование дополнительных облицовочных звукопоглощающих футеровок, монтируемых на внутренних поверхностях ограждающих стенок помещений электротрансформаторных подстанций (зданий), применение оригинальных геометрических форм локальных экранных звукоотражающих элементов и открытых вентиляционных проемов (каналов) помещений (зданий) электротрансформаторных подстанций, находящихся в зонах непосредственного распространения потоков звуковой энергии в окружающую среду.

Известны также технические устройства ослабления низкочастотной (до  $\sim 400$  Гц) звуковой энергии, характеризуемой доминирующим диапазоном шумового излучения СЭТ, в виде «низкочастотного электротрансформаторного гула», базирующиеся на применении соответствующих оригинальных структур акустических материалов в виде многослойных композиций, включающих компоненты изготовленные из

силиконовой резины или акриловой резины, пористого открытоячеистого и защитного пленочного слоев, см. заявки на изобретения Японии – JP 2008034477 (публ. 2008-02-14), JP 2008032838 (публ. 2008-02-14), JP 2007324389 (публ. 2007-12-13), JP 2010003919 (публ. 2010-01-07).

Известно использование вакуумированных структур составных конструктивных элементов электротрансформаторных подстанций, обеспечивающих соответствующее ослабление шумового излучения, распространяемого через такого типа структуры конструктивных элементов СЭТ в открытое пространство, согласно заявок на изобретения:

- международной заявки на изобретение WO 2011/138330 (публ. 10.11.2011);
- заявки на изобретение Японии JP 59-172218 (публ. 18.03.1983);
- заявки на изобретение Японии JP 61006812 (публ. 21.06.1984);

Известно применение активных систем подавления шумовых излучений, производимых силовыми электротрансформаторами, принцип действия которых базируется на генерировании искусственных противофазных акустических сигналов, производящих компенсацию амплитудных значений реальных акустических сигналов (шумовых излучений), непосредственно генерируемых составными элементами силового электротрансформатора, как это, в частности, представлено в заявках и патентах на изобретения:

- международной заявке на изобретение WO 2011/138329 (публ. 10.11.2011);
- заявке на изобретение Японии JP 2008218745 (публ. 18.09.2008);
- заявке на изобретение Японии JP 2008226933 (публ. 25.09.2008);
- патенте на изобретение США US 6633107 (публ. 14.10.2003);
- патенте на изобретение США US 5394376 (публ. 28.02.1995);
- заявке на изобретение США US 2012/0121101 (публ. 17.05.2012);

Известно также применение частотонастроенных акустических резонаторов R, используемых для подавления шумовых излучений СЭТ,

реализуемых в виде вакуумированных тонкостенных мембранных элементов, смонтированных на стеновых ограждающих конструкциях электротрансформаторной подстанции, согласно Европейского патента на изобретение EP 0109587 (публ. 30.05.1984), а также реализуемых в виде объемных (полостных) конструкций акустических резонаторов Гельмгольца (см. заявку на изобретение Японии JP 2010212350, опубликованную 24.09.2010 и патент на изобретение Великобритании GB 1220717, опубликованный 27.01.1971), заявку на изобретение Франции FR 2358721, опубликованную 17.03.1978 г.

В качестве прототипа заявляемого технического решения, совпадающего с ним по максимальному числу существенных признаков, выбрано техническое устройство низкошумной электротрансформаторной подстанции закрытого типа по патенту Великобритании GB 1220717, опубликованном 27.01.1971. Согласно указанному известному изобретению, низкошумная электротрансформаторная подстанция закрытого типа характеризуется улучшенным эффектом подавления звукового излучения (снижения шума) от силового электротрансформатора, на его трех гармонических частотных составляющих -  $2f_c$ ,  $3f_c$  и  $6f_c$  для конкретного случая равных, соответственно, 120, 180 и 360 Гц, отнесенных к используемой (в Великобритании, США) промышленной частоте сети переменного тока  $f_c=60$  Гц, которая рассматривается в представленном патенте на изобретение. Она содержит СЭТ, состоящий из активной части в виде магнитопровода и изолированных обмоток, охватываемых общим магнитным потоком, несущего каркаса, фундаментного основания, технического устройства естественного вентиляционного охлаждения, представленного в виде открытых каналов (проемов), расположенных в нижней и верхней зонах, образующих входной и выходной вентиляционные каналы (проемы) помещения электротрансформаторной подстанции, направляющих воздушные потоки дефлекторных элементов, а также разнообразных технических устройств ослабления (заглушения) акустического излучения

(«электротрансформаторного гула»), производимого активной частью силового электротрансформатора, в виде установленных монолитных панельных облицовочных звукопоглощающих футеровок, смонтированных на стеновых и потолочных элементах ограждающих панелей стен и потолка (крыши) помещения (здания) электротрансформаторной подстанции закрытого типа, поверхностях стенок направляющих дефлекторных элементов, а также шумозаглушающих устройств, выполненных в виде *акустических резонаторов*, смонтированных в полостях входного и выходного открытых вентиляционных каналов (проемов) помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа.

Недостатками известного технического устройства по указанному *прототипу* являются:

а) использование сплошных монолитных слоев футерующих материалов звукопоглощающих облицовок, монтируемых на поверхностях ограждающих панелей (стен, потолка, дефлекторных элементов), характеризующихся слабыми звукопоглощающими свойствами в актуальной низкочастотной области звукового спектра, как известно, доминируемого в спектрах шумовых излучений СЭТ (до  $\sim 400$  Гц), при высокой стоимости и неудовлетворительных экологических характеристиках такого типа пористых звукопоглощающих материалов (как процессов их производства, так и утилизации);

б) используемые в прототипе акустические резонаторы изготовлены из металлических или полимерных конструкционных материалов на изготовление которых потрачены ценные сырьевые материалы, с произведенными соответствующими трудовыми и энергетическими затратами на их изготовление;

в) дверные проемы рассматриваемого технического устройства по прототипу, как одно из наиболее слабых звукоизолирующих звеньев закрытого помещения (здания) электротрансформаторной подстанции не содержит эффективных в низкочастотном звуковом диапазоне

звукопоглощающих и звукоизолирующих элементов, что не способствует эффективному ограждению передачи в окружающую среду (смежное помещение или в открытое пространство) низкочастотного «электротрансформаторного гула», обладающего высокой проникающей способностью и слабым пространственным затуханием;

г) используемые в составе конструкций открытых вентиляционных каналов дефлекторные элементы увеличивают гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление свободному прохождению воздушных потоков, что ухудшает производительность используемой системы вентиляции помещения (здания), затрудняет эффективный вентиляционный теплообмен (теплообмен) с разогретой активной частью силового электротрансформатора.



## Глава 4. Информационный патентный анализ известных технологических процедур (способов) рециклированной утилизации твердых полимерных отходов ПЭТ-тары

Как известно также, паразитные шумовые излучения различного типа шумогенерирующих технических объектов (транспортных средств, производственно-технологического и санитарно-технического оборудования, энергетических установок, систем вентиляции и кондиционирования воздуха, электрических машин, бытовой техники), включая шумогенерирующие силовые электротрансформаторы, нуждаются в разработках эффективных технологий (технических устройств) утилизации излучаемой ими звуковой энергии. С другой стороны, существуют актуальные проблемы необходимой утилизации конструкционных материалов, представляемых в виде твердых полимерных отходов, возникающих при утилизации технических объектов, завершивших свой жизненный цикл, и/или утилизации производственно-технологического брака и отходов полимерных материалов (деталей и узлов машин, изготовленных из полимерных материалов). Весьма актуальной является также проблема энергетической утилизации отмеченных выше паразитных шумовых излучений (утилизации звуковой энергии), производимых эксплуатируемыми разнообразными шумогенерирующими техническими объектами (транспортными средствами, производственно-технологическим и санитарно-техническим оборудованием, энергетическими установками, системами вентиляции и кондиционирования воздуха, электрическими машинами, бытовой техникой) [5]. По этим причинам, разработка комплексных эффективных технологий (способов, устройств), направленных на материало-энергетическую утилизацию твердых полимерных отходов, продукты которой, в качестве полуфабрикатных

звукопоглощающих веществ и/или в качестве полуфабрикатных составных шумозаглушающих деталей и узлов, могут использоваться в дальнейшем для процессов последующей утилизации излучаемой шумогенерирующими техническими объектами паразитной шумовой энергии, представляется весьма востребованной не только с экологической, но и с экономической и социальной точек зрения.

Известно, что производство технических устройств связано как с соответствующими материало-энергетическими и трудовыми затратами, так и с сопутствующими им материало-энергетическими загрязнениями окружающей среды. Все это вызывает актуальную необходимость их минимизации. В особенности, это относится к производству технических устройств, изготовленных из полимерных материалов. В качестве исходного сырья при производстве полимерных материалов и изделий из них, как правило, используется невозобновляемое углеводородное сырье (нефть, природный газ). Технология их производства при этом характеризуется высокими энергетическими затратами, вредными условиями производства и неудовлетворительно высоким уровнем загрязнения окружающей среды токсическими выбросами в воздушный и водный бассейны. Особую проблему составляет утилизация твердых производственно-технологических отходов и брака производства полимерных материалов и изделий из них, а также утилизация уже произведенных технических устройств, изготовленных из полимерных материалов, завершивших свой жизненный цикл. Решение указанных технических проблем экологически безопасной и экономически эффективной утилизации изделий из полимерных материалов связано с реализацией дорогостоящих технологических процессов, осуществляемых с применением сложного технологического оборудования. Одним из наиболее быстрорастущих по объемам производства и потребления полимерным материалом является полиэтилентерефталат (ПЭТ). В особенности, широкое распространение ПЭТ получил в индустрии производства полимерной упаковки (ПЭТ-тары). Также, в больших объемах, он широко используется в

качестве волокнистых и пленочных материалов под торговыми марками сипрон, лавсан, полиэстер. Технические условия к ПЭТ материалу определяются требованиями отечественного стандарта - ГОСТ Р 51695-2000 «Полиэтилентерефталат. Общие технические условия». Особое место в номенклатуре производства ПЭТ-тары занимает бутылочная емкостная ПЭТ-тара, как наиболее распространенная в пищевой и упаковочной промышленности, используемая для упаковки и хранения воды, напитков, пива, соков, масла и т.п. Ее ежегодное производство и возникающие сопутствующие необходимые объемы утилизации в мировом масштабе исчисляются триллионами штук (млн. тонн). Это представляет очень важную экологическую проблему предотвращения загрязнения окружающей среды такого типа утилизируемыми твердыми трудноразлагаемыми полимерными материалами (полимерная упаковочная тара составляет около 40% коммунально-бытовых отходов, отправляемых на свалку). Основными техническими приемами утилизации твердых полимерных отходов, как известно, являются технологические процессы их термического разложения путем пиролиза, разложения (гидролиза, гликолиза), с получением исходных низкомолекулярных продуктов (мономеров, олигомеров) и вторичной (рециклированной) механической переработки. Указанным техническим приемам утилизационной переработки предшествует предварительная обработка твердых полимерных отходов, включающая сепарационное разделение (флотационное, аэросепарационное, электросепарационное, химическими методами, методами глубокого охлаждения), сортировку и идентификацию, измельчение (механическое, криогенное), мойку, сушку (вихревую, ленточную, ковшевую, с «кипящим слоем»), грануляцию. Полученное сырье, в виде гранулята, используют в качестве вторичной добавки к первичному сырью, наряду с дополнительно вводимыми пластификаторами, стабилизаторами и наполнителями, при производстве различного типа технических устройств, в частности, товаров бытовой химии, строительных и сельскохозяйственных орудий, поддонов для

транспортировки грузов, труб, облицовочных элементов и т.п. Конечными потребителями продукции из ПЭТ-материала являются производители бутылочной емкостной ПЭТ-тары, пленок и волокон, пищевая, текстильная, шинная промышленность. Технологические процессы изготовления бутылочной емкостной ПЭТ-тары базируются на литье под давлением, экструзии, раздувном формовании, вакуум-формовании могут включать, в том числе, применение вторичного (переработанного) полиэтилентерефталата в виде ПЭТ-хлопьев (чипсов, флексов) или ПЭТ-гранул.

Наращивание объемов рециклированной переработки утилизируемой бутылочной емкостной ПЭТ-тары, связанной с осуществлением сложных и трудоемких технологических процессов ее сбора, сортировки, очистки, дробления, термо-химических преобразований, сдерживается высокими финансовыми издержками, достигающими 50% роста общих затрат на производство продукции. Широко распространенным способом утилизации вышедшей из употребления бутылочной емкостной ПЭТ-тары является ее энергетическая утилизация путем сжигания, объемы которого могут достигать до 40% полимерных отходов. Однако, указанная технология утилизации вызывает необходимость применения сложных и дорогостоящих технических устройств очистки продуктов сгорания, которые характеризуются недостаточно высокой эффективностью и/или неудовлетворительной стабильностью функционирования.

Известные технические решения по рециклированной переработке ПЭТ-материалов, представленных утилизируемыми бутылочными емкостями ПЭТ-тары, содержатся, в частности, в приведенных ниже ссылках на описания опубликованных заявок и патентов изобретений, относящихся к соответствующим техническим устройствам и технологическим операциям (технологическим процессам - способам):

- сбора, сортировки, сепаративного разделения, пакетирования в интегральные блоки - RU 2348530, RU 2150385, RU 2091224, US 2014299523,

US 2014299524, US 2011/0127362, US 2004/0155374, US 5115987, US 5688693, JP 2005041671, JP 2002292630, US 5554657, US 4830188, KR 20070070754, FR 2560155;

- очистки (мойки) - RU 2335394, RU 2465972, RU 2137787, RU 2020005, RU 2235019, US 2011/0127362, US 2004/0155374, US 2003/0010360, EP 0237127, WO 09527753, WO 0183112, US 5688693, DE 10002682, WO 09955508, US 5266124, EP 0304667, DE 19545357, JPH 11302443, US 4830188, US 2010140382;

- измельчения (дробления) - RU 2384592, RU 2561475, RU 2349451, RU 2150385, RU 2233200, WO 0183112, US 2011/0155374, WO 09527753, US 7546965, US 5947016, US 5688693, DE 19545357, KR 20000072851, KR 20000010466, JPH 11302443, US 4830188, KR 20010079125;

- гранулирования - US 6436322, DE 19618363, US 6217804, KR 20010079125;

- экструзии, термохимических технологических процессов - RU 2496805, RU 2458946, RU 2263658, RU 2137787, RU 2103257, US 5073203, US 2007/0299150, DE 19629042, WO 09928285, WO 09527753, US 4605762, US 5945460, US 5807932, US 5597891, US 5952520, US 5580905, KR 20000010466, JPH 11302443, MX 201201936, MX 2007004429, US 4973746, US 4355175;

- комбинированным технологиям производства многокомпонентных композитных и/или многослойных полимерных материалов - RU 2302433, RU 2264917, RU 2356915, SU 1331654, RU 2363572, RU 2569371, JPH 08253223, FR 2560155, US 5472753, US 5804305, WO 9702939, WO 9920462, KR 20100045695, JP 2002361647.

- использования по другому целевому назначению составных частей утилизируемой ПЭТ-тары в качестве полуфабрикатных элементов технических устройств - RU 2559129.

Приведенные выше известные способы и технические устройства утилизации ПЭТ-тары (бутылочной емкостной ПЭТ-тары) характеризуются

сложными, трудоемкими, дорогостоящими и экологически несовершенными (грязными) технологическими приемами их переработки.

В связи с вышесказанным, актуальной является разработка технических приемов более технически эффективных, экологичных и экономически оправданных способов утилизации полимерных отходов в виде утилизируемой ПЭТ-тары. Решению этих вопросов и посвящена представленная научно-техническая разработка бакалаврской работы (см. Главы 5 и 6)

## Глава 5. Разработка конструктивных концептуальных схем эффективных технических устройств уменьшения шумовых излучений СЭТ в составе электротрансформаторных подстанций закрытого типа

### 5.1. Критический анализ известных технических приемов уменьшения шумовых излучений

Приведенные выше анализируемые известные технические решения, направленные на снижение уровня шума СЭТ, описанные в заявках и патентах на изобретения (см. Главу 3), характеризуются недостаточно высокой акустической (шумозаглушающей) эффективностью и дороговизной их изготовления, или низкими (нестабильными) эксплуатационными характеристиками при недостаточной надежности и долговечности их эксплуатации, а также неудовлетворительными экологическими характеристиками, связанными как с изготовлением их составных конструктивных элементов, так и с их вынужденной утилизацией по завершению их жизненного цикла, связанной с сопутствующим загрязнением окружающей среды.

### 5.2. Критический анализ известных технических приемов рециклированной утилизации твердых полимерных отходов ПЭТ-тар

Приведенные в разделе 4 анализируемые известные способы и технические устройства утилизации ПЭТ-тары (бутылочной емкостной ПЭТ-тары) также характеризуются сложными, трудоемкими, дорогостоящими и экологически несовершенными (грязными) технологическими приемами их переработки.

5.3. Выбор эффективных концептуальных схем технических средств уменьшения звуковых излучений, базирующихся на применении акустических резонаторов Гельмгольца R, представленных используемыми утилизируемыми пустотелыми бутылочными ёмкостями ПЭТ-тары

Предлагаемое к применению техническое устройство уменьшения шумового излучения, производимого СЭТ, предусматривает использование простого, дешевого и экологически чистого технического применения утилизируемой бутылочной емкостной ПЭТ-тары, по-другому целевому назначению. Оно рассматривается в качестве уже готового полуфабрикатного продукта для последующего применения в составе технического устройства заглушения паразитной акустической энергии (низкочастотного «электротрансформаторного гула»), смонтированного в составе технического устройства «низкошумная электротрансформаторная подстанция закрытого типа», подробное описание конструктивно-технологического исполнения которого будет раскрыто ниже, в тексте приведенного описания заявки и формулы изобретения (см. приложение Б).

Утилизация паразитной шумовой энергии, производимой разнообразными эксплуатируемыми шумогенерирующими техническими объектами (в данном конкретном случае - СЭТ), базируется на реализации физических процессов поглощения (преобразования) звуковой энергии с ее необратимой диссипацией в тепловую энергию используемыми в конструкциях шумозаглушающих устройств пористыми структурами звукопоглощающих материалов [6]. Также имеют место реализуемые в шумозаглушающих технических устройствах взаимодействующие компенсационные интерференционные фазо-амплитудные энергетические подавления распространяемых прямых и отраженных звуковых волн (используемыми в составе шумозаглушающих технических устройств четвертьволновыми и/или полуволновыми акустическими резонаторами) и



возникающие резистивные диссипативные потери звуковой энергии колеблющимися воздушными массами в поверхностных зонах горловых частей акустических резонаторов Гельмгольца (рис.1).

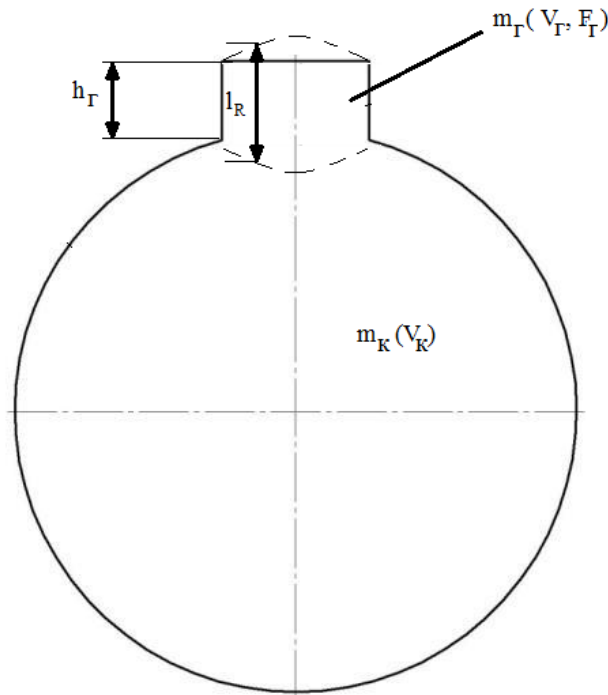


Рисунок 1 – Принципиальная физическая модель акустического резонатора Гельмгольца R

При использовании технических устройств устранения акустического излучения, представленных акустическими резонаторами Гельмгольца, их собственные (резонансные) частоты колебаний  $f_R$  определяются согласно выражения (5.3.1):

$$f_R = \frac{20,1\sqrt{273+t^{\circ}C}}{2\pi} \sqrt{\frac{k_n}{V_k}}, \Gamma_{Ц}, \quad (5.3.1)$$

где  $k_n$  – проводимость горла (горловой части) акустического резонатора Гельмгольца, м;

$V_k$  – объем камерной части акустического резонатора Гельмгольца, м<sup>3</sup>;

$$k_n = \frac{n_{oms} \times F_{oms}}{h_2 + 0,8\sqrt{F_{oms}}} \quad (5.3.2)$$

где  $F_{\text{отв}}$  – площадь проходного сечения отверстия перфорации в составе горла акустического резонатора Гельмгольца,  $\text{м}^2$ ;

$n_{\text{отв}}$  – число отверстий перфорации, формирующих горловую часть акустического резонатора Гельмгольца;

$h_{\Gamma} = h_{\Gamma 1} + h_{\Gamma 2}$  – геометрическая длина горловой части акустического резонатора Гельмгольца;

$l_{\text{R}} = h_{\Gamma} + 0,8\sqrt{F_{\text{отв}}}$  – динамическая длина горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м.

Штатные (серийные) утилизируемые бутылочные емкости ПЭТ-тары, путем их соответствующей модификационной доработки, могут быть преобразованы в оригинальные частотонастроенные шумозаглушающие устройства (глушители шума), образующие классического типа акустические резонаторы Гельмгольца, наделенные выраженными признаками четкого граничного разделения открытой горловой и камерной частей, характеризующиеся заданной дискретной резонансной частотной настройкой. В частности, такого типа доработка может достигаться путем дополнительной установки в открытую горловую часть бутылочной ПЭТ-тары соответствующей конструкции внутреннего трубчатого удлинителя открытой горловой части, свободный концевой срез которого помещен непосредственно внутрь воздушной полости камерной части емкостной бутылочной ПЭТ-тары (выбором его соответствующей габаритной длины и площади проходного сечения). В результате, воздушная масса, локализованная в полости внутреннего трубчатого удлинителя открытой горловой части, в зоне ее выраженного (скачкообразного) граничного разделения с вязкоупруго присоединенной к ней упругой воздушной массой, сосредоточенной в полости камерной части, образуют соответствующую акустическую колебательную систему (сосредоточенная воздушная масса горловой части, колеблющаяся на присоединенной к ней распределенной упругой воздушной пружине камерной части). При этом соблюдается реализация физического принципа вязкоупругого присоединения

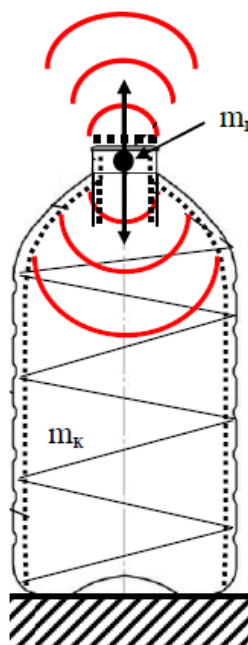
сосредоточенных локализованных масс воздуха в плоскости граничного разделения (размещения) концевой среза внутреннего трубчатого удлинителя открытой горловой части и камерной части бутылочной емкости ПЭТ-тары, как это и имеет место в классического типа акустическом резонаторе Гельмгольца (рис.1). Заданная частотно-резонансная настройка указанного типа акустического резонатора Гельмгольца производится соответствующим выбором габаритов (емкости) камерной части и конструктивным исполнением его открытой горловой части, которая заключается в конкретном выборе ее габаритной длины  $h_{\Gamma}$ , длины  $d_{\Gamma}$  и площади проходного сечения  $F_{\Gamma}$ , а также (при необходимости) дополнительном использовании тех или иных элементов резистивного диссипативного рассеивания колебательной энергии, вводимых в открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца.

Используемая в составе применяемого акустического модуля емкостная бутылочная ПЭТ-тара, может быть представлена как единичными обособленными (разобщенными) шумозаглушающими элементами (глушителями шума), так и комплектоваться (компоноваться) в сблокированные модульные акустические панели (образуемым например, механическим и/или адгезионным соединением контактирующих стенок отдельных емкостных бутылочных элементов ПЭТ-тары), с возможностью реализации более «густого» (близкорасположенного) размещения открытых горловых частей семейства используемых экземпляров емкостной бутылочной ПЭТ-тар. Это может оказаться более предпочтительным как для реализации более эффективного поглощения звуковой энергии, так и с точки зрения обеспечения компактности используемого технического устройства акустического модуля, снижения трудоемкости его монтажа и демонтажа, упрощения проведения сервисного обслуживания (мойки, очистки, замены отдельных блоков в процессах эксплуатации и т.п.).

Управление частотным спектром поглощения звуковой энергии может производиться, в первую очередь, за счет соответствующего выбора

(использования) разногабаритной (различающегося воздушного объема) бутылочной емкости ПЭТ-тары. Привлекательная по минимизации затрат (обеспечению низкой материалоемкости) окончательная конструктивно-технологическая доработка применяемого акустического модуля, с обеспечением его заданной частотно-резонансной поднастройки, может быть реализована использованием соответствующих отличающихся конструкций внутренних трубчатых удлинителей, смонтированных в открытых горловых частях бутылочных емкостей ПЭТ-тары. Она осуществляется путем выбора габаритов внутреннего трубчатого удлинителя (длины, площади проходного сечения), перфорирования их стенок, установкой в их полостях пористых воздухопродуваемых элементов, наделенных заданным отличающимся акустическим сопротивлением (отличающимися параметрами сопротивления продувания воздушным потоком, извилистости пор).

На рисунке 2 представлена упрощенная схематическая физическая модель колебательной акустической системы, представленной акустическим резонатором Гельмгольца  $R$ , образованным из бутылочной емкости ПЭТ-тары. Изображенная линия, условно отображает пространственные зоны возникающих резистивных диссипационных потерь в процессе резонансного колебательного движения упругих воздушных масс горловой  $m_g$  и камерной  $m_k$  частей акустического резонатора Гельмгольца  $R$ .



## Рисунок 2 – Физическая модель колебательной системы

5.4. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот  $f_R$  типичных используемых утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ- тары.

Акустические резонаторы Гельмгольца  $R$  представлены в виде одногорловой части трубчатого исполнения конструкции, присоединенной к камерной части. Условия и требования по исполнению конструкций акустических резонаторов Гельмгольца, базируются на заданном взаимосвязанном выборе их отдельных конструктивных параметров – объеме полости камерной части  $V_k$ , проводимости горловой части  $k$ , образующих горловую часть, площади проходного сечения  $F_R$ , геометрической длины горловой части  $h_g$ , динамической длины горловой части  $l_R$ , установившегося значения температуры воздуха  $t$  внутри замкнутой полости помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа. Результаты расчетов собственных (резонансных) частот  $f_R$  сведены в таблицу №1. В данном техническом решении мы используем пластиковую ПЭТ-тару в виде акустических резонаторов Гельмгольца.

Таблица 1 - Расчетные параметры акустических резонаторов Гельмгольца  $R$  , образованных из штатных утилизируемых емкостей ПЭТ-тары

| Принятые и расчетные геометрические и физические параметры акустических резонаторов Гельмгольца |                        | Объем воздушной камерной части бутылки ПЭТ-тары |                       |                       |
|---|------------------------|---|-----------------------|-----------------------|
|   |                        | 2л  | 0,6л                  | 0,5л                  |
| Расчетные геометрические параметры  | $V_{пт}, \text{м}^3$   | $2 \times 10^{-3}$                              | $0,6 \times 10^{-3}$  | $0,5 \times 10^{-3}$  |
|   | $V_{к}, \text{м}^3$    | $2,07 \times 10^{-3}$                           | $0,65 \times 10^{-3}$ | $0,53 \times 10^{-3}$ |
|   | $V_{г}, \text{м}^3$    | $1,04 \times 10^{-5}$                           | $1,04 \times 10^{-5}$ | $1,04 \times 10^{-5}$ |
|   | $V_{г1}, \text{м}^3$   | 0   | 0                     | 0                     |
|   | $V_{г2}, \text{м}^3$   | $1,04 \times 10^{-5}$                           | $1,04 \times 10^{-5}$ | $1,04 \times 10^{-5}$ |
|   | $h_{г}, \text{м}$      | $25 \times 10^{-3}$                             | $25 \times 10^{-3}$   | $25 \times 10^{-3}$   |
|   | $h_{г1}, \text{м}$     | 0   | 0                     | 0                     |
|   | $h_{г2}, \text{м}$     | $25 \times 10^{-3}$                             | $25 \times 10^{-3}$   | $25 \times 10^{-3}$   |
|   | $d_{г}, \text{м}$      | $23 \times 10^{-3}$                             | $23 \times 10^{-3}$   | $23 \times 10^{-3}$   |
|   | $F_{г}, \text{м}^2$    | $4,1 \times 10^{-4}$                            | $4,1 \times 10^{-4}$  | $4,1 \times 10^{-4}$  |
|   | $k_{п}, \text{м}$      | $10 \times 10^{-3}$                             | $10 \times 10^{-3}$   | $10 \times 10^{-3}$   |
| Принятые физические параметры   | $c, \text{м/с}$        | 343   | 343                   | 343                   |
|   | $t, \text{°C}$         | +20   | +20                   | +20                   |
|   | $2\pi$                 | 6,2831853                                       | 6,2831853             | 6,2831853             |
| Расчетные значения собственных (резонансных) частот $f_{R1}, f_{R2}, f_{R3}$                    | Гц ( $\text{с}^{-1}$ ) | 122,8   | 224,2                 | 245,6                 |

Как следует из результатов расчетов значений собственных (резонансных) частот  $f_R$  штатных утилизируемых бутылочных ёмкостей ПЭТ-тары, воздушным объемом камерных частей ( $V_k$ ) равных 0,5 л., 0,6 л. и 2 л., они отличаются от значений доминирующей функциональной частоты электротрансформаторного гула (100,200 и 300 Гц). Их значения равны 122,8, 224,2 и 245,6 Гц. Таким образом, необходима их «частотная поднастройка» с изменением значений  $f_R$  на 22,8...54,4 Гц.

5.5. Расчетные исследования собственных (резонансных) частот  $f_r$  преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца утилизируемых пустотелых бутылочных ёмкостей ПЭТ- тары, использующих адаптерные элементы горловых частей для «частотной поднастройки» на доминирующие спектральные составляющие шумового излучения СЭТ

Окончательная резонансно-частотная настройка акустических резонаторов Гельмгольца R на заданные рабочие функциональные частоты «электротрансформаторного гула»  $f_1=100$  Гц,  $f_2=200$  Гц,  $f_3=300$  Гц производится соответствующими применениями (выбором конструкций) трубчатых удлинителей открытых горловых частей с учетом используемых объемов полостей присоединенных к ним камерных частей бутылочных емкостей утилизируемой ПЭТ-тары, результаты расчетов сведены в таблицу №2.

Таблица 2 - Расчетные параметры частотонастроенных акустических резонаторов Гельмгольца, формируемых соответствующими модификационными преобразованиями утилизируемых емкостей ПЭТ-тары

| Принятые и расчетные геометрические и физические параметры акустических резонаторов Гельмгольца |               | Доминирующие в шумовом спектре электротрансформатора гармонические частотные составляющие |                        |                        |
|---|---------------|---|------------------------|------------------------|
|   |               | $f_1 = 100$ Гц  | $f_2 = 200$ Гц         | $f_3 = 300$ Гц         |
| Расчетные геометрические параметры  | $V_{пт}, м^3$ | $2,07 \times 10^{-3}$   | $0,65 \times 10^{-3}$  | $0,35 \times 10^{-3}$  |
|   | $V_{к}, м^3$  | $2,06 \times 10^{-3}$   | $0,648 \times 10^{-3}$ | $0,349 \times 10^{-3}$ |
|   | $V_{г}, м^3$  | $1,48 \times 10^{-5}$   | $1,06 \times 10^{-5}$  | $1,61 \times 10^{-5}$  |
|   | $V_{г1}, м^3$ | $0,53 \times 10^{-5}$   | $0,15 \times 10^{-5}$  | $0,11 \times 10^{-5}$  |

|  |                              |                       |                       |                       |
|--|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|  | $V_{r2}, \text{ м}^3$        | $0,95 \times 10^{-5}$ | $0,91 \times 10^{-5}$ | $1,5 \times 10^{-5}$  |
|  | $h_r, \text{ м}$             | $39 \times 10^{-3}$   | $28 \times 10^{-3}$   | $31 \times 10^{-3}$   |
|  | $h_{r1}, \text{ м}$          | $14 \times 10^{-3}$   | $4 \times 10^{-3}$    | $2 \times 10^{-3}$    |
|  | $h_{r2}, \text{ м}$          | $25 \times 10^{-3}$   | $24 \times 10^{-3}$   | $29 \times 10^{-3}$   |
|  | $d_r, \text{ м}$             | $22 \times 10^{-3}$   | $22 \times 10^{-3}$   | $25,7 \times 10^{-3}$ |
|  | $F_r, \text{ м}^2$           | $3,8 \times 10^{-4}$  | $3,8 \times 10^{-4}$  | $5,2 \times 10^{-4}$  |
|  | $k_{п}, \text{ м}$           | $6,9 \times 10^{-3}$  | $8,7 \times 10^{-3}$  | $10,5 \times 10^{-3}$ |
| Принятые физические параметры  | $c, \text{ м/с}$             | 343                   | 343                   | 343                   |
|  | $t, \text{ }^\circ\text{C}$  | +20                   | +20                   | +20                   |
|  | $2\pi$                       | 6,2831853             | 6,2831853             | 6,2831853             |
| Расчетные значения собственных (резонансных) частот $f_{R1}, f_{R2}, f_{R3}$ | $\Gamma_{ц} (\text{с}^{-1})$ | 100,6                 | 200,7                 | 300,8                 |
| Геометрические схемы бутылочных ПЭТ-тар                                      |                              |                       |                       |                       |

Таким образом, использование предложенных в работе оригинальных адаптерных элементов горловых частей для «частотной поднастройки» на доминирующий спектр, составляющий шумовое излучение СЭТ (100,200 и



300 Гц), позволяет полностью удовлетворить этому требованию, т.к. собственные (резонансные) частоты  $f_R$  модифицированных бутылочных ёмкостей ПЭТ-тары, в этом случае, практически полностью с ними совпадают. Отличие в частотной настройке не превышает 0,8 Гц.

5.6. Разработка составных конструктивных элементов и компоновочных схем монтажа, в составе преобразованных в акустические резонаторы Гельмгольца R, утилизируемых пустотелых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, в вентиляционных и дверных проемах помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа

Монтажная установка отдельных экземпляров акустических резонаторов Гельмгольца R, в составе используемых акустических модулей, наиболее целесообразна в поверхностно-пространственных зонах, содержащих наиболее слабые звенья звукоизоляции помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа (рис.3), а также пространственно приближенных к непосредственным источникам излучения характерного низкочастотного «электротрансформаторного шума» (гула) на трех указанных дискретных частотных составляющих  $f_1=100$  Гц,  $f_2=200$  Гц,  $f_3=300$  Гц (активной части силового электротрансформатора), передающегося в окружающую среду (открытое пространство и/или смежные помещения здания). Такими зонами целесообразной поверхностно-пространственной компоновки акустических резонаторов Гельмгольца R являются, в первую очередь дверные проемы, оборудованные тонкостенными панельными элементами и неудовлетворительными по звукоизоляции уплотнительными элементами, а также открытые вентиляционные каналы (проемы) помещения (здания) электротрансформаторной подстанции.

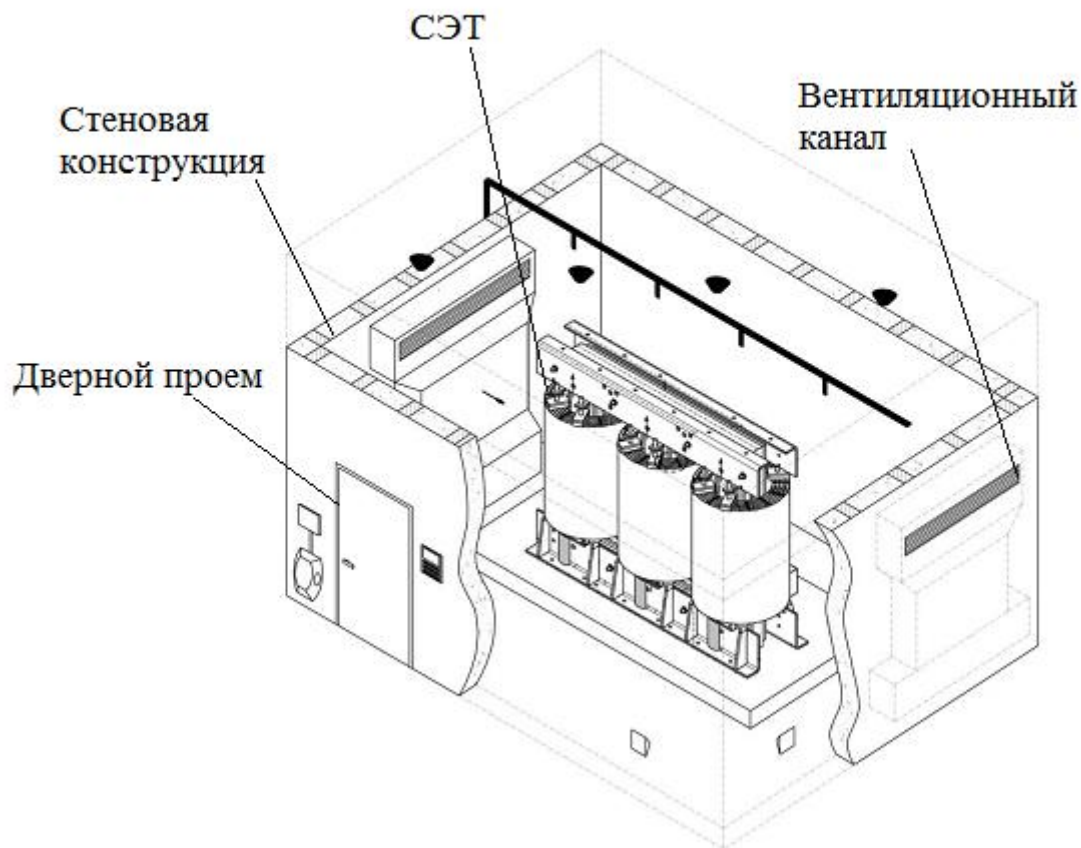


Рисунок 3 – Электротрансформаторная подстанция закрытого типа

По этой причине, согласно предложенных технических решений разработанных в бакалаврской работе технического устройства, используемые открытые вентиляционные каналы прямооточного типа могут, в частности, дополнительно содержать последовательно скомпонованные объемные расширительные камеры, в полостях которых размещены и соответствующим образом закреплены утилизируемые бутылочные емкости ПЭТ-тары. Аналогичным образом, утилизируемые бутылочные емкости ПЭТ-тары могут размещаться непосредственно на стенках прямооточных открытых вентиляционных каналов, вне полостей объемных расширительных камер и на панельных элементах дверного проема помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа (рис. 4).

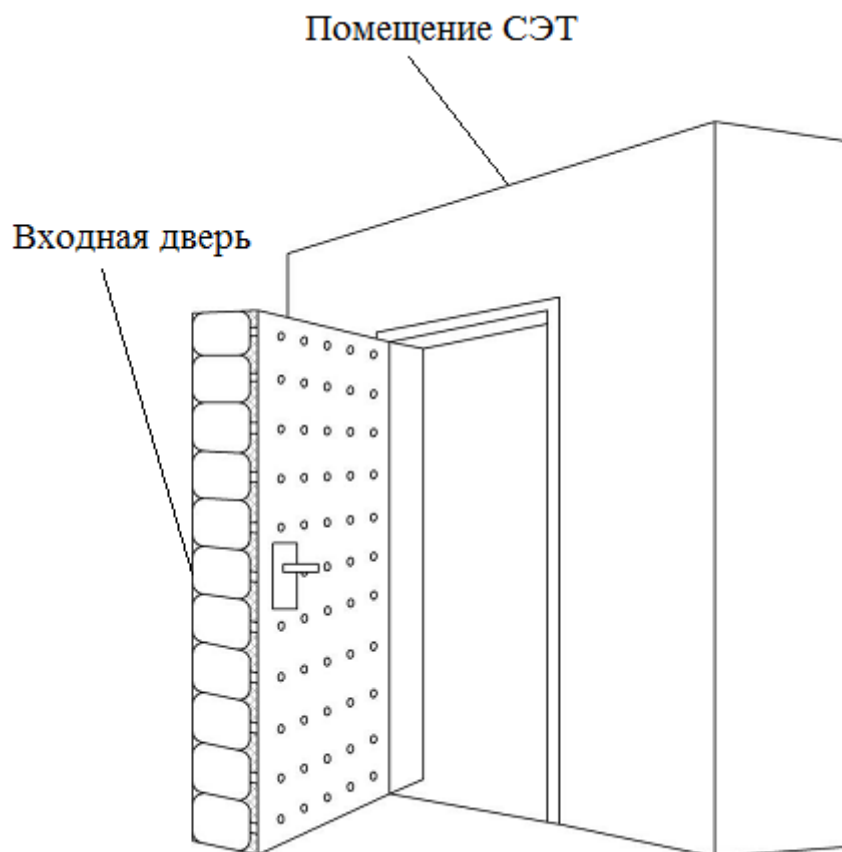


Рисунок 4 – Дверной проем ЭТП

Данные варианты конструктивно-технологических исполнений являются предпочтительными с точки зрения получения более эффективного заглушения акустической энергии (подавление «электротрансформаторного гула»), излучаемой из помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа в окружающую среду. Модифицированная емкостная бутылочная ПЭТ-гара может также монтироваться в указанных выше полостях (каналов, камер) как по всей периметрической части поверхности сечений, так и размещаться в них локализовано по отдельным их частям (поверхностным зонам. К примеру, она может монтироваться своими открытыми горловыми частями друг напротив друга или устанавливаться только при односторонней компоновке горловых частей, располагаемых напротив плотной звукоотражающей или пористой звукопоглощающей поверхности стенки (канала, камеры).

Объемная расширительная камера, используемая в составе открытого вентиляционного канала (проема) прямого типа, после монтажа в ее полости акустических модулей, содержащих акустические резонаторы Гельмгольца  $R$ , может быть преобразована, в конечном итоге, в классическую резонаторную камеру, функционирующую уже не на принципе звукоотражающей «волновой акустической пробки» (типичная функция объемной расширительной камеры), а на принципе функционирования технического устройства частотонастроенного диссипативного поглощения звуковой энергии, производимого используемыми в ней акустическими резонаторами Гельмгольца  $R_1, R_2, R_3$ , частотонастроенными на дискретные значения резонансных частот  $f_{R1}, f_{R2}, f_{R3}$ . Диссипация звуковой энергии при этом осуществляется в результате резонансных колебаний сосредоточенных масс воздуха при их трении о поверхности стенок каждого из отдельных экземпляров открытых горловых частей акустических резонаторов Гельмгольца  $R_1, R_2, R_3$ .

В качестве, по крайней мере, одного из альтернативных конструктивно-технологических исполнений предусмотрено, что в одной из используемых объемных расширительных камер могут быть упорядочено скомпонованы акустические резонаторы Гельмгольца  $R_1, R_2, R_3$  с различающимися собственными (резонансными) частотами  $f_{R1}, f_{R2}, f_{R3}$ . В этом случае, открытый вентиляционный канал (проем) прямого типа может содержать, по крайней мере, три отдельные (разногабаритные и/или одногабаритные) объемные расширительные камеры, в каждой из которых смонтированы акустические резонаторы Гельмгольца  $R_1$ , или  $R_2$ , или  $R_3$ .

В качестве отличающегося альтернативного конструктивно-технологического исполнения предусмотрено использование в составе по крайней мере одной из объемных расширительных камер только одного типа из применяемых акустических резонаторов Гельмгольца  $R$ , собственные (резонансные) частоты которого составляют  $f_{R1}$  или  $f_{R2}$  или  $f_{R3}$ .

Рассмотренными выше конструктивно-технологическими исполнениями, в полости объемной расширительной камеры формируется соосный звукопрозрачный и/или звукопоглощающий коаксиальный канал, представленный в виде трубчатого элемента перфорированной структуры горловой компоновочной матрицы. Его проходное сечение (прямоугольное, круглое) принимается идентичным или большим проходных сечений подводящего и отводящего участков патрубков открытого вентиляционного канала (прямоугольного, круглого). Тем самым, обеспечивается прямоточное, без соответствующего возрастания гидравлического (аэродинамического) сопротивления прохождению вентилируемых воздушных потоков между помещением (зданием) электротрансформаторной подстанции и внешней окружающей средой (открытым пространством).

Образованная внутри полости объемной расширительной камеры стенка соосного звукопрозрачного и/или звукопоглощающего коаксиального прямоточного канала, как составного элемента открытого вентиляционного канала (проема), сформированная перфорированной стенкой горловой компоновочной матрицы ( $k_{\text{пм}} \geq 0,1$ ), может быть изнутри дополнительно футерована и/или извне облицована тонким (5...10 мм) пористым слоем (слоями) звукопоглощающего материала (вспененного открыто ячеистого, волокнистого). Таким образом, образуется эффективная звукопоглощающая структура коаксиального канала. Аналогичного типа звукопоглощающий коаксиальный канал трубчатого конструктивно-технологического исполнения горловой компоновочной матрицы образуется при использовании структуры его стенки, изготовленной из цельноформованного пористого волокнистого и/или пористого открытоячеистого вспененного звукопоглощающего материала, наделенной требуемыми жесткостными и прочностными характеристиками. При необходимости, для обеспечения приемлемой каркасности стенки горловой компоновочной матрицы, могут дополнительно использоваться соответствующие структуры закладных звукопрозрачных конструктивных элементов, изготовленных из

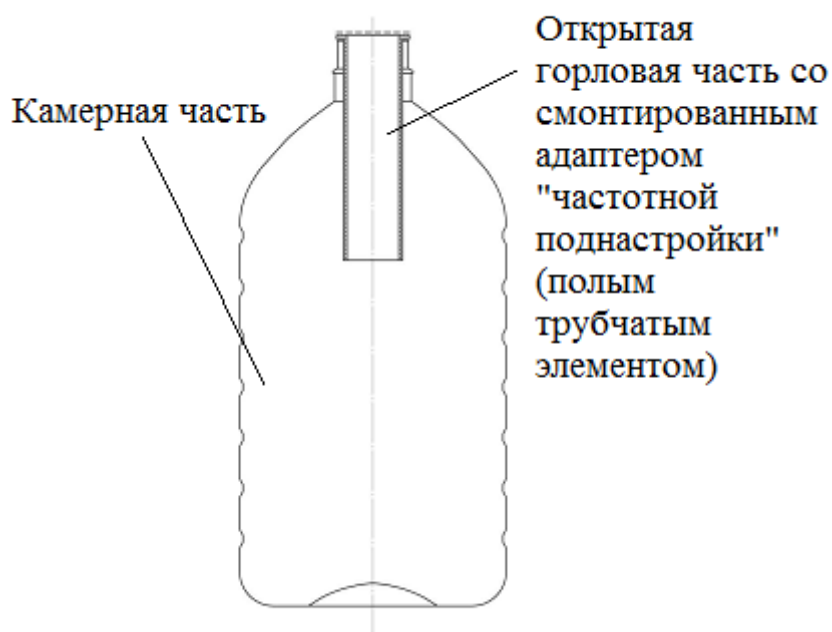
металлических или полимерных материалов (перфорированные пластины, стержни, сетки).

Стеновые конструкции электротрансформаторной подстанции закрытого типа, выполненные из сборных крупнопанельных (железобетонных, каркасно-металлических), крупноблочных монолитных или кирпичной кладки, во многих случаях обеспечивают требуемую звукоизоляцию от «электротрансформаторного гула». В это же время, в составе помещения (здания) электротрансформаторной подстанции закрытого типа выделяются два «слабых звукоизолирующих звена», ответственных за интенсивную передачу «паразитной звуковой энергии (электротрансформаторного гула)» в смежные помещения строительного здания и/или в открытое пространство [8]. Такого типа «слабыми звукоизолирующими звеньями» являются открытые вентиляционные каналы (проемы) и дверные проемы помещения (здания), входные двери которых оборудованы тонкостенными панельными элементами и комплектуются упрощенными по конструктивно-технологическому исполнению, с недостаточной звукоизоляцией, уплотнительными узлами. По этой причине, улучшение звукоизолирующих характеристик указанных наиболее «слабых звукоизолирующих звеньев» является актуальной задачей разработчиков низкошумных электротрансформаторных подстанций закрытого типа. Весьма важно также учитывать сопутствующие проводимому конструктивно-технологическому усовершенствованию заявляемого технического устройства низкошумной электротрансформаторной подстанции закрытого типа и экономические (стоимостные), а также экологические (утилизация, материало-энергетическое ресурсосбережение) задачи, с использованием более простых, доступных и легко осуществимых на практике технических приемов. На комплексное решение обозначенных задач направлено заявляемое техническое решение.

В качестве адгезионных веществ, используемых для монтажных закреплений составных элементов заявляемого технического устройства,

могут применяться липкие и/или термоактивные клеевые вещества органического происхождения – синтетические олигомеры и полимеры типа фенол–формальдегидных, эпоксидных и полиэфирных смол, полиамидов, полиуретанов, каучуков, термопластичных, термоактивных и/или резиновых клеев, и/или веществ неорганического происхождения типа алюмофосфатных, силикатных в жидком виде, например в растворах, эмульсиях суспензиях, или в твердом виде, например в пленках, прутках, гранулах, порошках – путем их соответствующего температурного расплава или нанесения на нагретые сопрягаемые поверхности.

Конструктивно-технологическое исполнение шумозаглушающего устройства (глушителя шума), выполненного в виде акустического резонатора Гельмгольца R, оборудованного внутренним трубчатым удлинителем открытой горловой части (рис. 5), отличается не только компактностью образуемой конструкции, но и характеризуется улучшенными акустическими характеристиками в сравнении с вариантом типичного внешнего расположения его трубчатого участка открытой горловой части (концевой срез которого находится вне полости камерной части, с присоединением к входному отверстию камерной части акустического резонатора Гельмгольца R, как это имеет место в его типичном «классическом» исполнении показанном на рис. 1).



## Рисунок 5 – Модифицированная ПЭТ-тара

Частотно-резонансные настройки акустических резонаторов Гельмгольца, соответствуют значениям рабочих функциональных частот акустического излучения активной части силового электротрансформатора -  $f_1=2f_c$  ,  $f_2=4f_c$  ,  $f_3=6f_c$ . Частотно-резонансные настройки ( $f_{R1}$ ,  $f_{R2}$  ,  $f_{R3}$ ) акустических резонаторов Гельмгольца, определяются соответствующим исполнением их составных конструктивных элементов, образованных преобразуемыми (модифицируемыми) утилизируемыми бутылочными емкостями ПЭТ-тары - воздушного объема полости камерной части ( $V_k$ ), геометрической длины  $h_r$  и площади проходного сечения  $F_r$  (диаметра круглого проходного сечения -  $d_r$ ) открытой горловой части, формируемых используемыми внутренними трубчатыми удлинителями, выполненных заданных габаритных размеров и смонтированных в открытых горловых частях утилизируемых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, рассчитанных с учетом температуры воздуха  $t^{\circ}\text{C}_{\text{ст}}$ , установившейся в воздушной полости помещения электротрансформаторной подстанции закрытого типа согласно выражению (5.6.1):

$$f_R = \frac{20,1\sqrt{273+t^{\circ}\text{C}}}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{\pi}}{V_k}} \quad (5.6.1)$$

где  $t^{\circ}\text{C}_{\text{ст}}$  - температура воздуха, установившаяся в воздушной полости помещения (здания) электротрансформаторной подстанции,  $^{\circ}\text{C}$ ;



$f_R$ - значение собственной (резонансной) частоты в Гц акустического резонатора Гельмгольца, совпадающее с одной из рабочих функциональных частот акустического излучения силового электротрансформатора ( $f_1=2f_c$ ,  $f_2=4f_c$ ,  $f_3=6f_c$ ), кратной промышленной частоте сети переменного тока  $f_c$ ;

$$\pi=3,14,$$

$F_r$  - площадь проходного сечения в  $m^2$  используемого внутреннего трубчатого удлинителя, смонтированного в открытой горловой части утилизируемой бутылочной емкости ПЭТ-тары;

$$F_r = \frac{\pi d_r^2}{4}, m^2 \quad (5.6.2)$$

где  $d_r$  - диаметр круглого проходного сечения открытой горловой части используемого внутреннего трубчатого удлинителя, м;

$V_k$  - объем камерной части акустического резонатора Гельмгольца, соответствующий воздушному объему камерной части утилизируемой бутылочной емкости ПЭТ тары с вычитанием объема, занимаемого в камерной части концевым участком внутреннего трубчатого удлинителя,  $m^3$ ;

$k_n$  - проводимость открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м;

$$k_n = \frac{F_r}{l_R} \quad (5.6.3)$$

где  $l_R$  - динамическая длина открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м.

$$l_R = h_r + 0,8\sqrt{F_r} \quad (5.6.4)$$

где  $h_r$  - геометрическая длина открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца, м.

Расположение внутреннего концевого среза колеблющегося воздушного столба, сосредоточенного в полости открытой горловой части, на границе раздела камерной и горловой частей в этом случае смещено внутрь воздушной полости камерной части от поверхности ее стенки (удалено от нее в направлении центра тяжести воздушной полости камерной части

образуемого акустического резонатора Гельмгольца). По этой причине уменьшается степень динамического возбуждения амплитудных значений собственных акустических мод воздушного объема полости камерной части образуемого акустического резонатора Гельмгольца R. Это вызвано тем, что максимальные амплитудные значения звуковых давлений на собственных акустических модах, формирующиеся в динамически возбуждаемых замкнутых воздушных полостях, локализируются непосредственно у поверхностей их твердых ограничительных стенок и уменьшаются по мере их удаления к центральной зоне (центре тяжести) указанных воздушных полостей. В этом случае, интенсивное динамическое возбуждение собственных акустических мод воздушных полостей камер акустических резонаторов Гельмгольца R способствует дополнительному генерированию и последующему излучению в открытое пространство через их открытые горловые части соответствующих паразитных звуков [9]. Для примера воздушной полости камерной части, сообщающейся с открытой горловой частью, представленной в виде акустического резонатора Гельмгольца R, это может соответственно ухудшать его акустическое (шумозаглушающее) качество. По этой причине, преднамеренно выполненное смещение (удаление) источника динамического возбуждения воздушной полости камерной части, представленного внутренним концевым срезом колеблющейся воздушной массы, сосредоточенной в полости внутреннего трубчатого удлинителя открытой горловой части акустического резонатора Гельмгольца R, непосредственно от поверхности твердой ограничительной стенки воздушной полости камерной части, как это реализовано в заявляемых конструктивно-технологических исполнениях акустических резонаторов Гельмгольца R, базирующихся на использовании утилизируемых бутылочных емкостей ПЭТ-тары, способствует соответствующему ослаблению (исключению) процесса генерирования дополнительного «паразитного» динамического возбуждения воздушной полости камерной части, что предотвращает нежелательные излучения

отмеченных «паразитных» звуковых излучений на низших собственных акустических модах в окружающее пространство. Тем самым, улучшаются акустические качества модифицированных технических устройств заглушения акустической энергии (низкочастотного электротрансформаторного гула).

## Глава 6. Экономический раздел

В настоящее время на смену традиционному подходу, рассматривавшему улучшение условий и охраны труда на рабочих местах, как дополнительные затраты, приходит новый при котором здоровье,

безопасность и благосостояние работников делаются неотъемлемыми элементами экономического развития предприятий.

Увязывая задачи обеспечения с целями совершенствования управления и развития производства, все большее число предприятий добивается экономического успеха, демонстрируя возможности улучшения производственной среды на основе гармоничного сочетания заботы о благополучии работников и прибыльности предприятия.

Целью внедрения мероприятий по улучшению условий труда является сохранение здоровья трудящихся, повышение их работоспособности и трудоспособности, содействие формированию у них творческого отношения к труду, т.е. достижение социального эффекта. Экономический эффект является выражением социального эффекта и не может поэтому выступать в качестве самостоятельной цели.

Несчастные случаи на производстве и профессиональные заболевания можно рассматривать как отрицательные последствия производственного процесса. Имеется немало примеров, когда предприятия снижают потери, связанные с производственным травматизмом и профессиональной заболеваемостью, благодаря совершенствованию производственной среды.

Задача экономики производственной среды – предоставлять информацию об убытках и прибыли, связанных с этим процессом, и тем самым стимулировать действия, направленные на повышение уровня безопасности и охраны труда на предприятиях.

Оперативный контроль деятельности предприятия осуществляется на основе финансовой информации. Не менее важно получать информацию об экономическом воздействии производственной среды. Во многих случаях можно оценить затраты предприятия, связанные с несчастными случаями на производстве, невыходами на работу и пособиями по нетрудоспособности. Плохие условия труда могут привести к ухудшению деятельности предприятия, что выразится в повышении расходов и снижении производительности. Хорошие условия труда, могут способствовать росту

производительности и сокращению расходов. Таким образом, значение безопасности и охраны труда при оценке результатов деятельности предприятия нельзя недооценивать.

Экономический эффект достигается в результате мероприятий по улучшению условий труда и совершенствованию производственного контроля (сокращение простоев оборудования, снижение производственных потерь, повышение производительности и качества). Эти результаты, в свою очередь, воздействуют на улучшение мотивации работников и их благосостояния, одновременно способствуя повышению уровня промышленной безопасности и конкурентно способности предприятий. Чем ниже уровень безопасности на предприятии, тем виднее результат любого, даже самого скромного мероприятия по улучшению производственной среды. Наиболее прибыльным представляются меры по улучшению организации труда и внедрение новых эргономических решений.

Проведение спецоценки рабочих мест по условиям труда дает возможность работодателю воспользоваться скидкой по страховому тарифу в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 30.05.2012 N 524 «Об утверждении Правил установления страхователям скидок и надбавок к страховым тарифам на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний», в котором были утверждены правила установления страхователям скидок и надбавок к страховым тарифам на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Федеральный закон от 24 июля 1998 г № 125 – ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваниях» ст. 22 определяет наличие скидок и надбавок в размере 40 % от страхового взноса.

В ЗАО «РУСПРОМ» число работающих 250 человек, годовой фонд заработной платы составляет 22000000 рублей. В соответствии с приказом Минтруда России от 25.12.2012 N 625н «Об утверждении Классификации

видов экономической деятельности по классам профессионального риска», предприятие относится к 8 классу профессионального риска, установлен тариф 0,9 % от фонда заработной платы труда.

Годовые отчисления по социальному страхованию составляют:

$$22000000 * 0,9\% = 198000 \text{ руб.}$$

При проведении специальной оценки рабочих мест по условиям труда предоставляется скидка в размере 40 % от страховых взносов, тогда страховые тарифы составят:

$$198000 \text{ руб.} * 40\% = 79200 \text{ руб.}$$

Учитывая, что срок действия материалов специальной оценки условий труда 5 лет, сумма снижения взносов составит

$$79200 \text{ руб.} * 5 \text{ лет} = 396000 \text{ руб.}$$

Затраты на проведение аттестации составляют 333470 руб. (смета затрат на проведение специальной оценки условий труда приведена ниже).

Срок окупаемости затрат на проведение аттестации рабочих мест по условиям труда:

$$T_{ок.} = \frac{K_{общ.}}{\mathcal{E}},$$

где  $T_{ок.}$  - срок окупаемости;

$K_{общ.}$  – общие затраты на проведение аттестации рабочих мест, руб.;

$\mathcal{E}$  – экономический эффект от мероприятия, руб.

$$T_{ок.} = \frac{494443}{396000} = 1,2 \text{ года.}$$

Таблица 3 - Составляющие затрат и положительный эффект вложений в мероприятие

| Затраты   | Положительный эффект  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Затраты на инспекцию</li> <li>▪ Затраты на работы по охране труда</li> <li>▪ Затраты на исправление несоответствующих работ</li> </ul> | <p>Экономический эффект:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ снижение тарифа отчислений в ФСС;</li> <li>▪ снижение затрат на реабилитацию</li> </ul> |

|   |  |
|---|--|
| <p>по охране труда внешних исполнителей</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Затраты на исправление несоответствующих внутренних работ по охране труда</li> </ul> | <p>пострадавших от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний (ФСС);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ увеличение производительности труда;</li> <li>▪ снижение количества (или исключение) штрафных санкций государственных надзорных органов.</li> </ul> <p>Социальный эффект:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ снижение уровня профзаболеваний и производственного травматизма;</li> <li>▪ социальная стабильность.</li> </ul> |
|---|--|

Таблица 4 - Смета затрат на аттестацию рабочих мест ЗАО «РУСПРОМ»

| № п/п | Наименование работ по АРМ                               | Кол-во точек | Стоимость работ, руб. | Итого, руб. |
|-------|---|--------------|-----------------------|-------------|
| 1     | Отбор и анализ отобранных проб                          | 120          | 200                   | 24000       |
| 2     | Инструментальные замеры                                 | 66           | 1800                  | 119000      |
| 3     | Параметры микроклимата                                  | 200          | 200                   | 40000       |
| 4     | Параметры световой среды                                | 200          | 200                   | 40000       |
| 5     | Шум   | 10           | 200                   | 2000        |
| 6     | Вибрация  | 10           | 200                   | 2000        |
| 7     | Комплексное обследование компьютеров                    | 35           | 700                   | 24500       |
| 8     | Тяжесть трудового процесса                              | 120          | 200                   | 24000       |
| 9     | Напряженность трудового процесса                        | 200          | 200                   | 40000       |
| 10    | Оформление протоколов замеров                           | 1044         | 80                    | 83520       |
| 11    | Заполнение карт рабочих мест и составление всех отчетов | 200          | 100                   | 20000       |
| 12    | ИТОГО без НДС   |              |                       | 419020      |
| 13    | НДС 18%   |              |                       | 75423       |
| 14    | ИТОГО с НДС   |              |                       | 494443      |

Введение механизма объективной оценки условий труда на рабочих местах на основе специальной оценки условий труда позволяет работникам получать компенсации, соответствующие условиям их труда, а работодателям, осуществляющим систематическую работу по улучшению условий труда, сокращать объемы предоставляемых компенсаций и претендовать на получение скидок к страховому тарифу на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Таким образом, экономические выгоды, которые дает работа по улучшению условий и охраны труда, и направление этих средств на дальнейшее улучшение условий труда, позволяет организациям обеспечивать безопасные условия труда для своих работников.

#### Заключение.

Проведенный анализ известных технических решений в данной области техники свидетельствует, что разработанное в бакалаврской работе техническое решение имеет признаки, которые отсутствуют в известных технических решениях, а использование их в предложенной совокупности технических признаков дает возможность получить новый технический



результат, следовательно, предложенное техническое решение имеет изобретательный уровень по сравнению с существующим уровнем техники. Предложенное техническое решение промышленно применимо, так как может быть изготовлено промышленным способом, работоспособно, осуществимо и воспроизводимо, следовательно, оно соответствует условию критерия «промышленная применимость».

Разработанное техническое решение не ограничивается конкретными конструктивными примерами его осуществления, описанными в тексте и показанными на прилагаемых схемах(см. приложение Ж). Остаются возможными и некоторые (несущественные) изменения различных элементов или конструкционных материалов, из которых эти элементы выполнены, либо замена их технически эквивалентными, не входящими за пределы объема притязаний, обозначенного формулой изобретения, заявка на которое направлена в Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) РФ № 2016106494 (010352), приоритет от 24.02.2016 (см. приложение Е), реферат заявки на изобретение (приложение Б), формулу изобретения (приложение В).

Реализация промышленного производства инновационного технического решения, представленного в виде разработанных резонаторных акустических модулей, составленных из утилизируемой бутылочной ПЭТ-тары, позволит эффективно разрешать технические, экономические и социальные проблемы.

## 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 и трансформаторов [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. Лизунов, С.Д. Сушка и дегазация трансформаторов высокого напряжения [Текст] / Лизунов, С.Д. – М. : Энергия, 1971 – 138 с.
9. Helmut, V.F, Shallabsorber und Shalldampfer [Текст] / Helmut, V.F – М: Springer-Verlag Berlin Heidelberrg 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. C. 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. 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, 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. - Information Technology Journal, 12(17)3986-3990. Publisher: Asian Network for Scientific Information. 2013.

15. Сафонова, Т.В. Экономика природопользования [Текст] : учеб.-метод. комплекс / Т.В. Сафонова; Ульянов. гос. техн. ун-т; Ин-т дистанционного образования. - ВУЗ/изд. - Ульяновск :УлГТУ, 2003. - 113 с. : ил. - Библиогр.: с. 22. - Глоссарий: с. 22-27. - ISBN 5-89146-366-0: 545-25.;

16. Чапек, В. Н. Экономика природопользования [Текст] : учеб.пособие / В. Н. Чапек; - М. : ПРИОР, 2001. - 203 с. - Библиогр.: с. 133-144. - Эколого-экон. вокабуларий: с. 145-201. - ISBN 5-7990-0199-0: 36-40.;

17. Махлай, В. Н. Пожарная безопасность технологических процессов : основы теории и практики [Текст] : учеб.пособие / В. Н. Махлай, С. В. Афанасьев, Н. Г. Колпин ; Тольят. фил. Военного инж.-техн. ун-та ; ЗАО "Корпорация Тольяттиазот". - Тольятти : ТФВИТУ, 2003. - 111 с. - Библиогр.: с. 89. - Прил.: с. 90-110. - 35-00.;

18. Свод правил пожарной безопасности [Текст] : (СП 1.13130.2009 - СП 13.13130.2009). - М. : Проспект, 2010. - 655, [1] с. - ISBN 978-5-392-01263-3 : 200-00.;

19. 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.

20. Фрезе, Т. Ю. Экономика безопасности труда [Текст] : учеб.пособие для студ. спец. 280102 "Безопасность технолог. процессов и производств" / Т. Ю. Фрезе ; ТГУ ; Автомех. ин-т ; каф. "Управление пром. и экол.

безопасностью". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2010. - 211 с. - Библиогр.: с. 202-210. - 51-30.;

21. 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.

22. Министерство Энергетики РФ. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. [Текст] / Министерство Энергетики Российской Федерации. – Санкт Петербург.: изд-во ОАО «Барс», 2010. – 95 с.

23. 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.

24. Словарь по промышленной безопасности [Электронный ресурс] : Электрон. б-ка . - М. : Термика, 2002. - (ИК "Кодекс"). - 203-75.

25. Промышленная безопасность и охрана труда[Текст]: (Сборник нормат. документов). - Екатеринбург : Урал.юрид. изд-во, 2003. - 255 с. - ISBN 5-900904-68-7 : 69-55.

26. Ящура А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования[Текст] : справочник / А. И. Ящура; - М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 355 с. - Библиогр.: с. 349-352. - Прил.: с. 235-348. - ISBN 5-93196-617-X : 384-06.

27. Трудовой кодекс Российской Федерации[Текст]: [новый]. - М. : ИНФРА-М, 2012. - 224 с. - (Библиотека кодексов) ( ; Вып. 11(127)). - ISBN 978-5-16-003153-8 : 36-36.

28. Данилина Н. Е. Электробезопасность на производстве[Текст]: учеб. пособие / Н. Е. Данилина ; ТГУ; каф. "Электроснабжение промышленных предприятий". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 145 с. : ил. - Библиогр.: с. 115-116. - Прил.: с. 117-144. - ISBN 5-7266-0311-7 : 19-02.

29. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация[Текст]. - Введ. 1974-11-18. - М.: Изд-во стандартов, 1974. - 4с.;

30. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [Текст]. Введ. 1976-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – IV, 4с. : ил.;