

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В.А. Солопова, Н.Н. Рахимова, В.Е. Дудоров

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Практикум

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Оренбург
2020

УДК 658.3:663/664(076.5)
ББК 30ня7+36я7
С 60

Рецензент - кандидат технических наук, доцент И.А. Бочкарева

Солопова, В.А.
С 60 Безопасность на предприятиях пищевой промышленности: практикум /
В.А. Солопова, Н.Н. Рахимова, В.Е. Дудоров; Оренбургский гос. ун-т. –
Оренбург : ОГУ, 2020. – 155 с.
ISBN 978-5-7410-2442-3

В практикуме представлены задания для расчетов на практических занятиях при изучении дисциплины «Безопасность в пищевой промышленности». В практикуме собраны расчеты защиты от опасных и вредных факторов, действующих на работников пищевых предприятий.

Практикум предназначен для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность.

УДК 658.3:663/664(076.5)
ББК 30ня7+36я7

ISBN 978-5-7410-2442-3

© Солопова В.А.,
Рахимова Н.Н.,
Дудоров В.Е., 2020
© ОГУ, 2020

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 6 |
| 1 Практическое занятие №1 Производственный шум..... | 8 |
| 1.1 Шум как неблагоприятный акустический фактор производства..... | 8 |
| 1.2 Расчет суммарного уровня звукового давления. Определение требуемого уровня снижения шума..... | 10 |
| 1.3 Источники шума на предприятиях пищевой промышленности | 11 |
| 1.4 Методы борьбы с шумом | 14 |
| 1.5 Методика расчета | 15 |
| 1.6 Звукоизоляция помещений на предприятиях пищевой промышленности.... | 16 |
| 1.7 Методика расчета | 18 |
| 1.8 Звукоизолирующие кожухи. Методика расчета | 22 |
| 1.9 Примеры решения задач | 24 |
| 1.10 Задание для самостоятельной работы..... | 26 |
| 2 Практическое занятие №2 Расчет виброамортизаторов | 40 |
| 2.1 Основные сведения | 40 |
| 2.2 Пример решения задачи | 43 |
| 2.3 Задание для самостоятельной работы..... | 44 |
| 3 Практическое занятие №3 Обеспечение необходимого воздухообмена в производственных помещениях пищевой промышленности | 46 |
| 3.1 Типы вентиляционных систем..... | 46 |
| 3.2 Определение воздухообмена в помещениях | 51 |
| 3.3 Определение количества воздуха, подаваемого в помещения..... | 51 |
| 3.4 Частные случаи расчета воздухообмена в помещении | 54 |
| 3.5 Расчет воздухообмена при работе вентиляционных (аспирационных) установок | 56 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 3.6 | Технологические мероприятия для снижения вредных выделений в помещениях производства | 57 |
| 3.7 | Пример решения задач..... | 59 |
| 3.8 | Задание для самостоятельной работы..... | 69 |
| 4 | Практическое занятие №4 Пылеотделители и их эффективность | 76 |
| 4.1 | Определение эффективности работы пылеотделителей..... | 76 |
| 4.2 | Примеры решения задач..... | 78 |
| 4.3 | Задание для самостоятельной работы..... | 79 |
| 5 | Практическое занятие №5 Безопасность при эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением..... | 81 |
| 5.1 | Классификация объектов, работающих под давлением..... | 81 |
| 5.2 | Основные причины аварий паровых и водогрейных котлов, меры их предупреждения | 82 |
| 5.3 | Опасные и вредные факторы при авариях компрессоров и холодильных установок..... | 84 |
| 5.4 | Меры безопасности при эксплуатации компрессоров и холодильных установок | 86 |
| 5.5 | Причины аварий стационарных сосудов, работающих под давлением, меры безопасности..... | 87 |
| 5.6 | Причины взрывов баллонов и обеспечение безопасности при их эксплуатации, транспортировании и хранении | 89 |
| 5.7 | Примеры решения задач..... | 91 |
| 5.8 | Задание для самостоятельной работы..... | 97 |
| 6 | Практическое занятие №6 Мероприятия электробезопасности..... | 107 |
| 6.1 | Защитное заземление | 107 |
| 6.2 | Методика расчета сопротивления защитного заземления..... | 108 |
| 6.3 | Пример решения задачи | 113 |

| | |
|--|-----|
| 6.4 Задание для самостоятельной работы..... | 114 |
| 7 Практическое занятие №7 Обеспечение взрывобезопасности при хранении и транспортировке сырья на предприятиях пищевой промышленности | 117 |
| 7.1 Основные сведения о горении и пожарной опасности сырья | 117 |
| 7.2 Причины образования горючей среды и характеристика источников зажигания на предприятиях пищевой промышленности..... | 121 |
| 7.3 Классификация производств по взрыво- и пожароопасности..... | 124 |
| 7.4 Нормирование пожаровзрывоопасных пылей | 125 |
| 7.5 Примеры решения задач | 126 |
| 7.6 Задание для самостоятельной работы..... | 132 |
| 8 Практическое занятие №8 Прогнозирование масштабов заражения аварийно- химически опасными веществами при аварии на мясокомбинате | 134 |
| 8.1 Основные сведения о химических авариях | 134 |
| 8.2 Пример решения задачи | 140 |
| 8.3 Задание для самостоятельной работы..... | 140 |
| Список использованных источников | 143 |
| Приложение А..... | 146 |
| Приложение Б | 150 |
| Приложение В..... | 152 |
| Приложение Г | 154 |
| Приложение Д..... | 155 |

Введение

Пищевая промышленность выполняет связующую роль между сельским хозяйством и потребителем. Ее предприятия перерабатывают зерно, овощи, фрукты, мясо, молоко и поставляют готовую продукцию предприятиям торговли и общественного питания. Технологические процессы пищевых производств связаны с большими тепло- и влаговыделениями, зачастую сопровождаются значительными уровнями шума и вибрации. Отдельные операции не исключают попадание в воздух производственных помещений пыли, паров и газов, оказывающих вредное воздействие на организм человека. Применение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и материалов существенно повышает пожаровзрывоопасность пищевых производств. Многие технологические операции сопровождаются выделением органической пыли (мучной и зерновой), что является самым неблагоприятным фактором, как для персонала, так и для окружающей среды и оборудования цехов, а также мучная пыль является взрывоопасной. Зачастую на предприятиях пищевой промышленности для производственных нужд хранятся большие запасы аварийно-химически опасных веществ, утечка которых может иметь неблагоприятные последствия не только для работающего персонала, но и для населения близлежащих населенных пунктов.

В результате проведения технических мероприятий по оптимизации производственного процесса создаются условия для повышения производительности труда и эффективности работы технологического оборудования пищевого производства, исключения конденсации паров влаги и осаждения пыли и других вредных веществ на поверхностях оборудования, устранения их губительного воздействия на работающий персонал, оборудование и продукт, и при этом также снижается вероятность развития многочисленных профзаболеваний.

При осуществлении технических мероприятий важная роль отводится научно-обоснованным инженерным расчетам и внедрению с их учетом прогрессивных технологических процессов. Данные вопросы решаются на всех этапах технологической подготовки производства – от разработки планировочных

решений, проектов и технологических процессов до внедрения их в производство. Необходима значительная работа по приведению эксплуатируемого оборудования, машин, механизмов в соответствие с требованиями правил и норм охраны труда. Для решения этой задачи необходимо владение навыками инженерных расчетов по производственной безопасности, которые приобретут обучающиеся при работе с данным практикумом.

В практикуме представлены расчеты шума, создаваемого отдельными источниками, виброизоляции оборудования, воздухообмена в помещениях пищевых предприятий, эффективности пылеулавливающего оборудования, безопасности при эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением, времени существования «огненного шара» при пожарах, а также прогнозирования масштабов заражения аварийно-химически опасными веществами при авариях на пищевых предприятиях.

Выполнение заданий практикума формирует у обучающихся способность использовать организационно-управленческие навыки в профессиональной и социальной деятельности, а также способность организовать свою работу ради достижения поставленных целей и готовностью к использованию инновационных идей.

Для решения задач исходные данные для расчета принимать согласно последним двум цифрам зачетной книжки. По каждой из задач необходимо формулировать вывод.

1 Практическое занятие №1

Производственный шум

1.1 Шум как неблагоприятный акустический фактор производства

Шум – это любой звук, который способен вызвать нарушение слуха или оказывать негативное влияние на здоровье человека, быть неблагоприятным в другом отношении. Источниками шума являются машины и механизмы, электромагнитные устройства, системы вентиляции и кондиционирование воздуха и др.

Шум, в том числе и малых уровней, оказывает сильное воздействие на слуховой аппарат, который через ЦНС связан с различными органами, необходимыми для нормального функционирования человека. Поэтому шум оказывает губительное действие на весь организм в целом. Продолжительное воздействие интенсивного шума на организм человека приводит к заболеванию центральной и вегетативной системы, внутренних органов и расстройства психики.

Выраженные психологические реакции проявляются уже начиная с уровня шума 30 дБ. Нарушения вегетативной нервной системы и периферического кровообращения наблюдаются при шуме 40- 70 дБ. Воздействие шума в 50-60 дБ на ЦНС проявляется в виде замедления реакций человека, нарушений биоэлектрической активности головного мозга совместно с общими функциональными расстройствами организма и биохимическими в структурах головного мозга. Интенсивный шум при ежедневном воздействии приводит к снижению производительности труда, возрастанию общей и профессиональной заболеваемости (тугоухости – шумовой болезни).

Смещение в худшую сторону слуха или его абсолютная утрата считаются главным аспектом влияния шума при физических работах. Для напряжения интеллектуального труда на первое место выступают нервно-психологические нарушения, вызванные воздействием шума. Эти выводы и положены в основу

гигиенического нормирования допустимых уровней шума при различной трудовой деятельности.

Эксплуатация современного промышленного оснащения и средств автотранспорта сопровождается значительным уровнем шума и вибрации. Не считая воздействие шума, негативное влияние на человека во время труда может оказывать как инфразвуковое, так и ультразвуковое колебания.

Шум как гигиенический фактор – это совокупность звуков различной частоты и интенсивности, которые человек воспринимает органами слуха. Эти звуки вызывают неприятное субъективное ощущение.

Шум как физический фактор считается волнообразно распространяющимися механическими колебаниями упругой среды, носящими, как правило, случайный характер.

Производственным шумом называется шум на рабочих местах, на участках или на территориях предприятий, который появляется во время производственного процесса.

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты, электрические машины, компрессоры, кузнечно-прессовое, подъемно-транспортное, вспомогательное оборудование (вентиляционные установки, кондиционеры) и т.д.

Механический шум возникает в результате работы всевозможных механизмов с неустойчивыми массами вследствие их вибрации, а также единичных или повторяющихся ударов в сочленениях деталей сборочных единиц или же их систем в целом.

Аэродинамический шум образуется при циркуляции воздуха по трубопроводам, вентиляционным системам или вследствие стационарных или нестационарных процессов в газах.

Шум электромагнитного происхождения возникает по причине колебаний элементов электромеханических устройств (ротора, статора, сердечника, трансформатора и т. д.) под действием переменных магнитных полей.

Гидродинамический шум возникает вследствие процессов, происходящих в жидкостях (гидравлические удары, кавитация, турбулентность струи и т.д.).

Допустимые и предельно допустимые уровни звукового давления представлены в приложении А.

1.2 Расчет суммарного уровня звукового давления. Определение требуемого уровня снижения шума

В производственных помещениях шум создается, как правило, несколькими одновременно работающими машинами (источниками шума). При этом в помещении могут работать как однотипные машины, имеющие одинаковый уровень шума, так и разнотипные, создающие различный шумовой фон. В данных случаях требуемый уровень снижения шума $\Delta L_{\text{тр}}$, дБ, до нормативного определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{тр}} = L_{\text{сум}} - L_{\text{н}}, \quad (1.1)$$

где $L_{\text{сум}}$ – суммарный (общий) уровень шума, создаваемый в расчетной точке от всех одновременно работающих источников шума, дБ;

$L_{\text{н}}$ – нормативный уровень звукового давления, дБ.

Для определения общего уровня шума необходимо помнить, что уровни нельзя складывать или вычитать как обычные числа ввиду их логарифмической природы. Складывать и вычитать можно только интенсивности и квадраты звукового давления.

Сложение нескольких уровней следует выполнять по следующей методике: сначала перейти от уровней к относительным величинам посредством потенцирования каждого из суммируемых уровней, затем сложить получившиеся значения и прологарифмировать полученную сумму:

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \prod_{i=1}^N 10^{0.1L_i} , \quad (1.2)$$

где N – число складываемых уровней звукового давления;

L_i – i -й складываемый уровень звукового давления, дБ.

Сложение нескольких уровней можно также выполнить с помощью таблицы 1. Для этого необходимо суммировать их попарно последовательно и для каждой пары расчет вести по формуле

$$L_{\text{сум}} = L_{\text{max}} + \Delta l , \quad (1.3)$$

где L_{max} – максимальный из суммируемых уровней шума, дБ;

Δl – добавка, определяемая по таблице 1 в зависимости от разностей уровней шума суммируемых источников, дБ.

При одновременной работе нескольких источников равной интенсивности общий уровень создаваемого ими шума $L_{\text{сум}}$, дБ, рассчитывается по формуле

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg N + L , \quad (1.4)$$

где N – число источников шума одинаковой интенсивности;

L – уровень звукового давления создаваемый одним источником, дБ.

1.3 Источники шума на предприятиях пищевой промышленности

Технологическое оборудование пищевых предприятий (дробилки, разливные автоматы, бутылкомоечные, тестомесильные, таторазделочные, фасовочные машины, конвейеры, электродвигатели, насосы, вентиляторы и другие установки) - источник шума и вибрации, которые, являясь раздражителями общебиологического действия, вызывают общее заболевание организма человека.

Длительное воздействие шума не только снижает остроту слуха, но и расшатывает периферическую и центральную нервную системы, нарушает деятельность сердечно-сосудистой системы, обостряет другие заболевания, связанные с ухудшением зрения, нарушением нормальной функции желудка, координацией движения, изменением кровяного давления и т.п. Такой комплекс изменений в организме человека рассматривается как «шумовая болезнь».

Длительная работа на рабочем месте при превышенном уровне шума и вибрации может вызвать ухудшение слуха или его полную потерю. Вибрация может неблагоприятно влиять на ЦНС и снижать концентрацию у рабочего.

Исследование параметров шума производственных помещений пищевых предприятий включает определение эквивалентного уровня звука в дБА, оценку дозовой нагрузки производственных шумов и спектральных характеристик шума на рабочих местах в течение продолжительного рабочего дня. Замеры проводились с использованием шумомера 1М 30 №466 на основе санитарных норм №139 от 24.03.2005 «Гигиенические нормативы уровней шума на рабочих местах». Всего выполнено 26 измерений.

Результаты измерения параметров шума показали, что на всех обследованных пищевых предприятиях имеются рабочие места с повышенными уровнями шума (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Гигиеническая характеристика распространения повышенных уровней шума на постоянных рабочих местах пищевых предприятий

| Предприятия | Подразделения | Эквивалентный уровень звука, дБА | |
|------------------------|---|----------------------------------|-----|
| | | min | max |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Молокоперерабатывающие | Приемное | 78 | 88 |
| | Аппаратное | 80 | 89 |
| | Розлив молока и кисломолочных продуктов | 88 | 96 |

Продолжение таблицы 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|----|----|
| | Сметано-творожное | 80 | 92 |
| | Готовой продукции | 88 | 94 |
| | Приготовления и хранения моющих и дезинфицирующих средств | 78 | 90 |
| Мясоперерабатывающие | Термической обработки колбас | 77 | 95 |
| | Шприцевание колбас | 78 | 92 |
| | Гарное | 79 | 83 |
| Хлебопекарные | Тестомесильное | 75 | 85 |
| | Выпечное | 66 | 88 |
| Примечание: ПДУ – при смене 8 часов – 80 дБА при смене 12 часов – 78 дБА при смене 16 часов – 77 дБА | | | |

Наиболее интенсивный шум регистрировался на молокоперерабатывающих предприятиях при розливе в бутылки молочных продуктов, у печей колбасного производства, вблизи насосов и компрессоров на всех предприятиях.

Время воздействия повышенных уровней шума на предприятиях пищевой промышленности составляет более 80% рабочей смены, что означает примерно от 8 до 12 часов в день в зависимости от продолжительности рабочего дня.

Результаты расчета дозовой нагрузки шума у работников пищевых предприятий показали, что в подавляющем большинстве случаев дозовая нагрузка за смену превышала допустимую, наибольшее превышение имело место на предприятиях по производству хлебобулочных изделий, молокоперерабатывающих, мясоперерабатывающих предприятиях. По характеру шум на большинстве предприятий постоянный, но может быть и прерывистый.

Спектральный анализ шума показал превышение преимущественно в диапазоне от 500 до 8000 Гц (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Спектральный состав шума на пищевых предприятиях

| Предприятия | Среднегеометрические частоты в октавных полосах спектра, Гц | | | | | | | | |
|------------------------|---|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Молокоперерабатывающие | 75 | 77 | 78 | 81 | 84 | 86 | 84 | 87 | 80 |
| Мясоперерабатывающие | 84 | 82 | 85 | 92 | 88 | 84 | 89 | 77 | 70 |
| Хлебопекарные | 73 | 74 | 77 | 81 | 83 | 87 | 82 | 87 | 78 |
| ПДУ | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 |

1.4 Методы борьбы с шумом

Борьба с шумом на предприятиях пищевой промышленности осуществляется методами, обозначенными четырьмя группами:

- устранение причин шума в источнике его образования;
- звукоизоляция;
- звукопоглощение;
- применение организационно-технических мероприятий.

Наиболее действенным является уменьшение шума в источнике его образования. При нем используется точная сборка деталей движущихся механизмов, чтобы избежать лишнего трения или вибрации при соударении движущихся деталей, что тем самым снизит уровень шума.

Звукоизоляция используется в присутствии высокого уровня шума вне рабочей зоны предприятия. В этот метод входит изоляция различными изолирующими дополнительными устройствами, такими как: кожухи, глушители, звукопоглощающие материалы. Метод звукопоглощения уступает методу шумоизоляции. Он используется, чтобы снизить уровень шума при отражении энергии об облицовочные материалы отделки производственного помещения. Для достижения положительного эффекта от этого методы используются различные звукопоглощающие плиты с высоким коэффициентом звукопоглощения.

1.5 Методика расчета

Снижение уровня звукового давления данным методом достигается установлением такого расстояния между источником шума и рабочим местом, при котором обеспечивается требуемый уровень шума.

Для источника шума на рабочем месте, на территории предприятия и границе жилого района уровень звукового давления L_i , дБ можно определить по формуле

$$L_i = L_p - 20 \lg \Delta r_i - \frac{\Delta r_i}{1000} - 8 + \Phi, \quad (1.5)$$

где L_p – октавный уровень звуковой мощности от одного источника шума, дБ;
 r_i – кратчайшее расстояние от центра источника шума до расчетной точки, м;
 Δ – затухание звука в атмосфере, дБ/км, принимается исходя из таблицы 1.3;
 Φ – фактор направленности источника шума, безразмерная величина (для источника шума с равномерным излучением звука $\Phi = 1$, с неравномерным излучением звука Φ находится в диапазоне от 5 до 7).

Таблица 1.3 – Затухание звука в атмосфере Δ , дБ/км

| | | | | | | | | | |
|---|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Затухание звука в атмосфере Δ , дБ/км | 0 | 0 | 0,7 | 1,5 | 3 | 6 | 12 | 24 | 48 |

1.6 Звукоизоляция помещений на предприятиях пищевой промышленности

На предприятиях пищевой промышленности требуется соблюдение нормирования уровня шума в рабочих помещениях. Для этого проводится снижение уровня шума в соответствии с гигиеническими требованиями.

Из-за высоких требований, предъявляемых к чистоте, в производственных помещениях пищевой промышленности, как правило, используются твердые поверхности и большие открытые пространства. Все этапы производства (подготовительный, этап расфасовки, упаковки, замораживания и хранения продуктов) создают высокий уровень шума в помещениях, где материалы с твердыми поверхностями хорошо отражают звук и способствуют его распространению. Тем не менее, любая установленная звукопоглощающая система не должна нарушать строгие гигиенические требования.

Хорошая акустика в помещениях на пищевом производстве поможет:

- повысить уровень безопасности рабочего персонала;
- улучшить самочувствие и состояние здоровья персонала;
- повысить производительность труда;
- улучшить условия коммуникации между персоналом.

На предприятиях пищевой промышленности используются во многих случаях открытые пространства, что способствует свободному распространению звука на территории рабочей зоны.

Также требуется соблюдать высокие гигиенические требования и нормы уровня шума.

Существует несколько решений для снижения высокого уровня шума на предприятиях пищевой промышленности.

В них входят:

- внедрение на предприятие звукопоглощающего потолка;
- использование баффлов в помещениях, где невозможна установка потолков «от стены до стены»;

- дополнительное использование звукопоглощающих стеновых панелей для сокращения распространения звука и увеличения разборчивости речи для персонала.

Баффы за счет свободно висящих элементов позволяют с легкостью подойти к акустическим проблемам. За счет большей площади звукопоглощения, а также за счет дифракционных явлений свободно висящие элементы могут существенно увеличить фонд звукопоглощения в помещении.

В помещениях, где потолок от стены до стены по различным причинам установить невозможно, например, в помещениях пищевой промышленности, в которых теплообмен осуществляется при помощи массивного бетонного потолка, свободно висящие элементы – один из немногих способов обеспечить приемлемый уровень акустического комфорта. Свободно висящие элементы могут быть выполнены как в виде вертикально, так и горизонтально подвешенных звукопоглотителей.

Основу звукопоглощающих панелей составляет шумо-теплоизолирующий материал. Такой способ является наиболее удобным, так как может быть использован и как огнестойкий материал. Звукоизолирующие материалы недороги и относительно просты в монтаже, что делает их наиболее выгодным материалом для снижения шума на предприятиях пищевой промышленности.

Все эти способствуют улучшению комфортных условий труда для работающих:

- уменьшает нагрузку на голосовые связки;
- уменьшает стрессовую нагрузку на работающих в непосредственной близости от шумных агрегатов;
- улучшает умственную концентрацию;
- повышает уровень комфорта.

1.7 Методика расчета

Методами звукоизоляции возможно изолировать источники шума или помещение от шума, проникающего снаружи. Шум из помещения с источником шума проникает через звукоизолирующие ограждения в тихое помещение тремя путями:

- 1) через ограждение, которое под действием переменного давления падающей на него волны, колеблясь как диафрагма, излучает шум в тихое помещение;
- 2) непосредственно через различного рода щели и отверстия;
- 3) посредством вибраций, возбуждаемых в строительных конструкциях механическим путем (удары).

В ситуациях 1 и 2 передаются звуки, возникающие и распространяющиеся по воздуху. В третьей ситуации энергия возникающих упругих колебаний распространяется по конструкциям (по стенам, трубопроводам, и т.п.), затем излучаются в виде шума. Колебания такого рода называют структурными или ударными звуками.

Специальные кожухи, перегородки и перекрытия эффективно снижают шум, распространяющийся по воздуху.

Часть энергии звуковой волны, попадая на ограждение, отражается, часть проникает внутрь и поглощается в материале, а часть проходит через ограждение. Отношение звуковой мощности, прошедшей через ограждение, $E_{\text{пр}}$ к падающей на него $E_{\text{пад}}$ называют коэффициентом звукопроницаемости τ , который является характеристикой звукоизолирующей способности ограждения.

$$\tau = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}}, \quad (1.6)$$

Звукоизолирующая способность преграды R , дБ зависит от физических параметров материалов и конструктивных размеров ее элементов и определяется по формуле

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}}, \quad (1.7)$$

Звукоизолирующая способность проектируемого ограждения R , дБ приближено можно рассчитать по весу конструкции, используя эмпирические формулы (1.8-1.10):

а) звукоизоляция сплошного однородного ограждения R , дБ, если вес 1 м^2 материала до 200 кг:

$$R = 13,5 \lg G + 13, \quad (1.8)$$

где G – масса 1 м^2 ограждения, кг;

б) звукоизоляция сплошного однородного ограждения, R , дБ, имеющего вес 1 м^2 материала свыше 200 кг:

$$R = 23 \lg G - 9; \quad (1.9)$$

в) звукоизоляция двойного ограждения с воздушной прослойкой R , дБ, толщиной от 8 до 10 см:

$$R = 26 \lg G_1 + G_2 - 6, \quad (1.10)$$

где G_1 и G_2 – масса 1 м^2 первого и второго ограждения, кг.

Если ограждение будет состоять из S_1 сплошной площади и S_2 площади всех проемов в данном ограждении (окна, двери), то в правую часть формул (1.8), (1.9), (1.10) необходимо ввести член $10 \lg \frac{S_1 + S_2}{S_1}$ со знаком минус:

$$R = 13,5 \lg G + 13 - 10 \lg \frac{S_1 + S_2}{S_1}, \quad (1.11)$$

Звукоизоляционная способность ограждения однослойной перегородки R , дБ может быть определена по формуле:

$$R = 20 \lg \rho_0 \cdot h_0 \cdot f - 47,5, \quad (1.12)$$

где ρ_0 – плотность материала ограждения, кг/м³;

h_0 – толщина ограждения, м;

f – частота, Гц.

Из формулы очевидно, что звукоизоляция ограждения увеличивается с ростом плотности его материала или толщины стенки, т.е. массы ограждения. Звукоизолирующая способность одного и того же ограждения возрастает с увеличением частоты – на высоких частотах эффект от установки ограждения будет значительно выше, чем на низких частотах.

Требуемая звукоизолирующая способность ограждения (стен) $R_{\text{тр.огр.}}$, дБ, обеспечивающая в смежном помещении выполнение нормативных требований, определяется по следующей формуле:

$$R_{\text{тр.огр.}} = L_{\text{сум}} - L_{\text{н}} - 10 \lg \frac{B_{\text{ш}}}{B_0} - 10 \lg \frac{B_{\text{из}}}{B_0} + 10 \lg \frac{S_i}{S_0} + 10 \lg m + 6, \quad (1.13)$$

где $L_{\text{сум}}$ – суммарный уровень звукового давления всех n источников шума на данной частоте, дБ;

$L_{\text{н}}$ – допустимые октавные уровни звукового давления в изолируемом помещении, дБ;

$B_{\text{ш}}$ – постоянная шумного помещения, определяется по графику 11, м²;

$B_{\text{из}}$ – постоянная изолируемого помещения, определяется по графику (рисунок 1.1), м²;

$B_0 = 1$ м²;

S_i – общая площадь однотипных i -х ограждающих конструкций изолируемого помещения, м²;

$S_0 = 1 \text{ м}^2$;

m – число разнотипных ограждающих конструкций, через которые шум проникает в изолируемое помещение.

Уровень шума в изолируемом помещении $L_{\text{из}}$, дБ, определяется по формуле

$$L_{\text{из}} = L_{\text{сум}} - R_{\text{огр}}, \quad (1.14)$$

где $R_{\text{огр}}$ – звукоизолирующая способность реальной конструкции смежного ограждения (таблица 1.4), дБ.

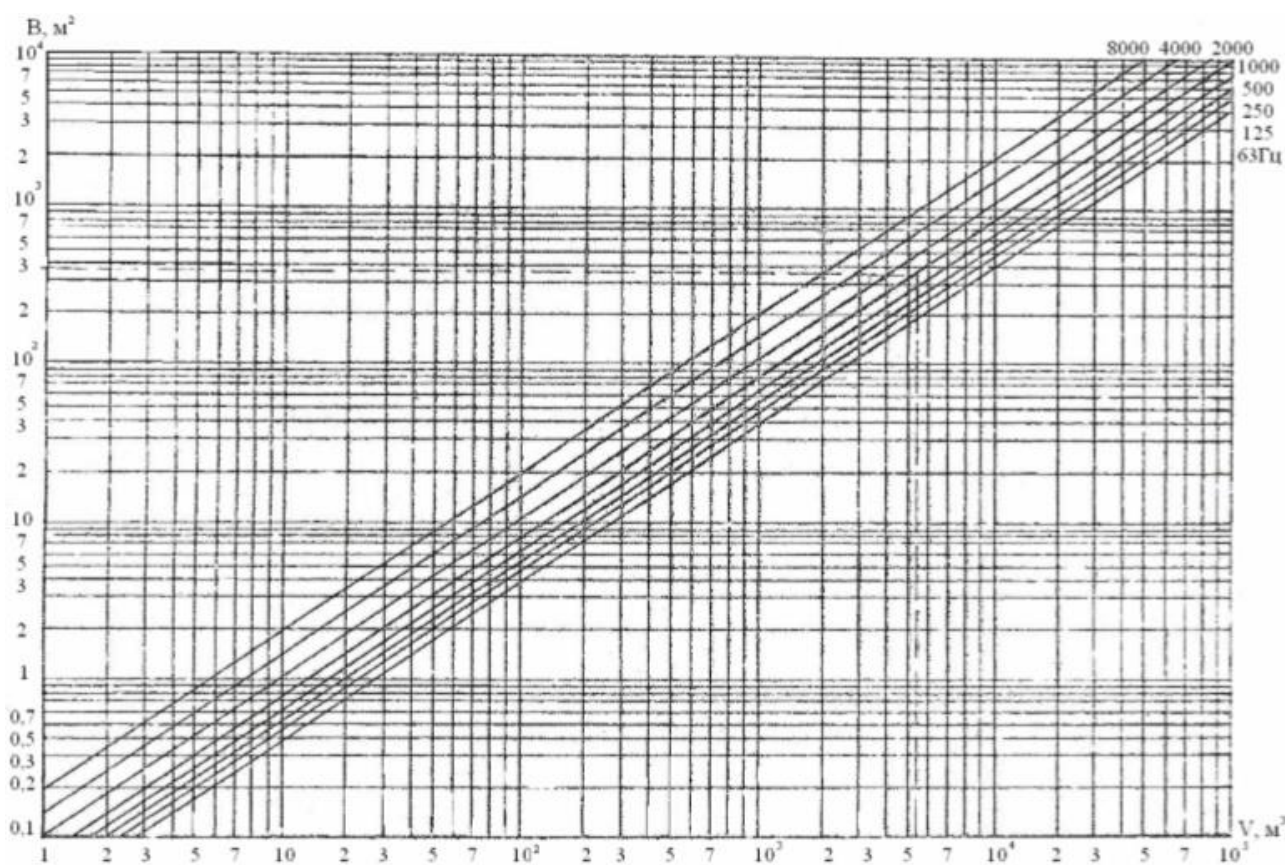


Рисунок 1.1 – График зависимости постоянной помещения (B) от его объема

(V)

Таблица 1.4 – Звукоизолирующая способность стен и перегородок

| Материал конструкции | Толщина | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Кирпичная кладка | ½ кирпича | 30 | 32 | 39 | 40 | 42 | 48 | 54 | 60 | 60 |
| | 1 кирпич | 34 | 36 | 41 | 44 | 51 | 55 | 64 | 65 | 65 |
| | 1 ½ кирпича | 40 | 41 | 44 | 48 | 55 | 61 | 65 | 65 | 65 |
| | 2 кирпича | 43 | 45 | 45 | 52 | 59 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| | 2 ½ кирпича | 43 | 45 | 47 | 55 | 60 | 67 | 70 | 70 | 70 |
| Виброкирпичная панель | 160 мм | 30 | 34 | 34 | 40 | 42 | 48 | 53 | 53 | 58 |
| Керамзитобетонная плита | 80 мм | 30 | 31 | 33 | 34 | 39 | 47 | 52 | 54 | 57 |
| | 120 мм | 31 | 33 | 33 | 37 | 39 | 47 | 57 | 60 | 60 |

1.8 Звукоизолирующие кожухи. Методика расчета

Устройство звукоизолирующих кожухов, полностью закрывающих самые шумные агрегаты, является наиболее простым и дешевым способом снижения шума в производственных помещениях с технологическим оборудованием. Кожухи позволяют существенно снизить шум в непосредственной близости от работающего оборудования на ближайших к нему рабочих местах, что невозможно сделать с помощью других архитектурно-акустических мероприятий. Кожух должен плотно

закрывать источник шума, но при этом не соприкасаться с ним, так как это дает отрицательный эффект (кожух становится дополнительным источником шума).

Кожухи могут закрывать целиком весь источник шума и устанавливаться на полу помещения, а могут закрывать лишь наиболее шумную часть машины и крепиться к станине через виброизолирующие прокладки. Кожухи изготавливаются из стали, алюминиевых сплавов, фанеры, ДСП, стеклопластика и других листовых материалов.

Под звукоизоляцией кожуха понимаю снижение звуковой мощности шума, излучаемого источником в окружающее пространство, в результате установки на источник звукоизолирующего кожуха.

Звукоизоляция кожуха зависит от конструкции и материала стенок кожуха, его формы и наличия звукопоглощающей облицовки внутри кожуха.

Требуемая звукоизоляция кожуха $R_{\text{кож.тр.}}$, дБ, рассчитывается по формуле

$$R_{\text{кож.тр.}} = L - L_{\text{н}} + 5, \quad (1.15)$$

где L – октавный уровень звукового давления в расчетной точке до установки кожуха, дБ.

$L_{\text{н}}$ – допустимые октавные уровни звукового давления на рабочем месте, дБ.

Для сплошного герметичного кожуха в форме прямоугольного параллелепипеда, полностью закрывающего источник шума, требуемая звукоизоляция $R_{\text{г.тр.}}$, дБ, для каждой грани равна:

$$R_{\text{г.тр.}} = R_{\text{кож.тр.}} + 10 \lg \frac{S_{\text{кож}}}{S_{\text{ист}}}, \quad (1.16)$$

где $S_{\text{кож}}$ и $S_{\text{ист}}$ – площадь поверхности кожуха и воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник шума, м².

1.9 Примеры решения задач

Задача 1

Найти сумму четырех уровней звукового давления:

$$L_1 = 80 \text{ дБ}, L_2 = 87 \text{ дБ}, L_3 = 85 \text{ дБ} \text{ и } L_4 = 90 \text{ дБ}.$$

Воспользуемся формулой (1.2).

$$\begin{aligned} L_{\text{сум}} &= 10 \lg 10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + 10^{0.1L_3} + 10^{0.1L_4} = 10 \lg 10^8 + 10^{8.7} + 10^{8.5} + 10^9 \\ &= 10 \lg 1,992 \cdot 10^9 = 92,8 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Таблица 1.5 – Надбавка для расчета различных уровней шума

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| Разность складываемых уровней шума, дБ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 15 | 20 |
| N, дБ | 3 | 2,5 | 2 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0 |

Решим задачу 1, используя данные таблицы 1.5. Выделим два максимальных значения и определим разность между ними:

$$L_4 - L_2 = 90 - 87 = 3 \text{ дБ}, \Delta l' = 1,8 \text{ дБ};$$

$$L'_{\text{сум}} = L_4 + \Delta l' = 90 + 1,8 = 91,8 \text{ дБ};$$

$$L'_{\text{сум}} - L_3 = 91,8 - 85 = 6,8 \text{ дБ}, \Delta l'' = 0,8 \text{ дБ};$$

$$L''_{\text{сум}} = L'_{\text{сум}} + \Delta l'' = 90 + 1,8 = 91,8 \text{ дБ};$$

$$L''_{\text{сум}} - L_1 = 90 - 87 = 3 \text{ дБ}, \Delta l''' = 1,8 \text{ дБ};$$

$$L'''_{\text{сум}} = L''_{\text{сум}} + \Delta l''' = 92,6 + 0,2 = 92,8 \text{ дБ}.$$

Найденное значение совпадает с результатом, полученным при решении примера первым способом с помощью формулы (1.2).

Для определения суммы нескольких одинаковых уровней можно пользоваться таблицей 1.6.

Таблица 1.6 – К сложению нескольких одинаковых уровней шума

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|-----|---|------|-------|-------|-------|-----|
| Число источников шума N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6-7 | 8 | 9-11 | 12-14 | 15-17 | 18-22 | 100 |
| 10lg N, дБ | 0 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 20 |

При решении подобных задач необходимо выделить следующие особенности:

- при наличии нескольких различных по звуковой мощности источников шума в первую очередь следует снижать шум основного источника, который дает наибольший уровень звукового давления в расчетной точке. Даже значительное снижение шума неосновных источников не приведет к заметному снижению суммарного шума;

- при наличии большого количества одинаковых источников шума прибавление или устранение нескольких из них практически не влияет на общий уровень шума;

- если уровень звука одного источника превышает уровень другого более чем на 10 дБ, то влиянием источника на общий уровень можно пренебречь;

- для эффективного снижения шума на оборудовании необходимо устранить его в источнике образования, начиная с источника максимальной интенсивности.

Задача 2

В октановой полосе 63 Гц источник шума – силовой трансформатор, создает уровень звукового давления $L_p = 10$ дБ при $\varphi = 7$ дБ, расстояние до границ территории застройки $r_i = 30$ м. Определить уровень звукового давления на границе этой территории.

$$L_i = 108 - 20 \lg 30 - 0 - 87 = 77 \text{ дБ}$$

Так как предельно допустимый уровень звукового давления в расчетной точке для активной полосы 63 Гц равен 63 дБ, то необходимо снижение шума на:

$$77-67=10 \text{ дБ.}$$

1.10 Задание для самостоятельной работы

Задача 1

Определить уровень шума в помещении минипекарни, где находится несколько источников шума равной интенсивности с уровнем L , дБ, каждый, количество источников $N=6$. Исходные данные в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Исходные данные

| | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
| Кол-во источников | 2-6 | 3-7 | 4-8 | 5-9 | 1-5 | 3-7 |
| Уровень шума, дБ | 80-84 | 84-88 | 88-92 | 92-96 | 96-100 | 104-108 |

Задача 2

В помещении минипекарни находится 5 единиц оборудования. Уровень звукового давления в октавных полосах частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, создаваемый источником шума в помещении – L_1, L_2, L_3 дБ. Необходимо определить уровень звукового давления в помещении $L_{\text{сум}}$, дБ и требуемый уровень снижения шума $\Delta L_{\text{тр}}$, дБ. Исходные данные в таблице 1.8-1.9.

Таблица 1.8 - Исходные данные

| | | | | | | |
|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
| Оборудование | 1,3,6,7,8 | 1,2,5,8 | 1,2,6,7 | 3,4,5,6 | 1,2,3,8 | 1,4,5,7 |

Таблица 1.9 – Уровни звукового давления технологического оборудования

| Наименование Оборудования | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | | | | |
|--|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| 1 Электроштабелер ЭШ-181 | 101 | 102 | 106 | 108 | 110 | 112 | 112 | 109 | 104 |
| 2 Мешкоочиститель | 96 | 96 | 95 | 100 | 102 | 102 | 99 | 96 | 93 |
| 3 Просеиватель «Пиорат» | 98 | 100 | 99 | 98 | 100 | 102 | 101 | 95 | 88 |
| 4 Тестомесильная машина «Кузбасс» | 104 | 105 | 106 | 107 | 99 | 96 | 92 | 89 | 85 |
| 5 Тестомесильная машина ТММ-120 | 101 | 106 | 113 | 110 | 114 | 112 | 110 | 106 | 101 |
| 6 Натирочная машина Н-3 | 93 | 93 | 92 | 94 | 95 | 91 | 84 | 75 | 66 |
| 7 Делительно- закаточная машина УДЗМ | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 |
| 8 Установка для обварки баранок | 93 | 95 | 100 | 104 | 108 | 110 | 108 | 105 | 101 |

Задача 3

Источник шума – тестомесильная машина ТММ-120, создает уровень звукового давления L_i , дБ, расстояние до границы с залом продажи готовой продукции 1, м, фактор направленности источника шума Φ . Определить уровень

звукового давления на границе двух помещений и проверить на соответствие допустимым значениям. Исходные данные в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Исходные данные

| Номер варианта | Уровень звукового давления, создаваемый источником шума L_i , дБ в октавных полосах частот, Гц | | | | | | | | | l, м | Ф |
|----------------|--|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|----|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 108 | 107 | 100 | 99 | 98 | 92 | 90 | 93 | 97 | 40 | 7 |
| 2 | 100 | 105 | 106 | 108 | 110 | 105 | 102 | 100 | 99 | 60 | 5 |
| 3 | 111 | 108 | 105 | 100 | 102 | 100 | 98 | 95 | 99 | 55 | 6 |
| 4 | 102 | 104 | 105 | 100 | 98 | 97 | 98 | 96 | 95 | 45 | 6 |
| 5 | 100 | 102 | 95 | 90 | 89 | 88 | 83 | 81 | 99 | 66 | 7 |
| 6 | 99 | 107 | 111 | 112 | 114 | 110 | 105 | 98 | 79 | 45 | 5 |
| 7 | 96 | 98 | 100 | 107 | 106 | 101 | 97 | 93 | 93 | 62 | 6 |
| 8 | 102 | 104 | 105 | 100 | 98 | 102 | 104 | 101 | 87 | 56 | 6 |
| 9 | 105 | 95 | 94 | 94 | 90 | 99 | 96 | 92 | 90 | 47 | 7 |
| 10 | 110 | 102 | 105 | 90 | 88 | 85 | 83 | 81 | 91 | 92 | 5 |
| 11 | 90 | 93 | 94 | 100 | 104 | 107 | 108 | 105 | 79 | 100 | 7 |
| 12 | 118 | 119 | 105 | 107 | 99 | 89 | 89 | 88 | 100 | 70 | 5 |
| 13 | 90 | 95 | 96 | 108 | 107 | 107 | 99 | 95 | 89 | 67 | 7 |
| 14 | 101 | 105 | 110 | 108 | 99 | 97 | 96 | 93 | 95 | 40 | 5 |
| 15 | 99 | 101 | 97 | 110 | 108 | 105 | 100 | 96 | 90 | 38 | 6 |
| 16 | 100 | 102 | 106 | 90 | 89 | 88 | 83 | 81 | 90 | 55 | 6 |
| 17 | 99 | 107 | 108 | 112 | 114 | 110 | 105 | 98 | 79 | 45 | 7 |
| 18 | 118 | 119 | 95 | 107 | 99 | 89 | 89 | 88 | 93 | 66 | 1 |
| 19 | 90 | 95 | 111 | 108 | 107 | 107 | 99 | 95 | 89 | 45 | 6 |

Продолжение таблицы 1.10

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| 20 | 108 | 107 | 110 | 99 | 98 | 92 | 90 | 93 | 95 | 100 | 7 |
| 21 | 108 | 107 | 100 | 99 | 98 | 92 | 90 | 93 | 97 | 40 | 1 |
| 22 | 100 | 105 | 106 | 108 | 110 | 105 | 102 | 100 | 97 | 60 | 7 |
| 23 | 111 | 108 | 105 | 100 | 102 | 100 | 98 | 95 | 99 | 55 | 7 |
| 24 | 102 | 104 | 105 | 100 | 98 | 97 | 98 | 96 | 99 | 45 | 5 |
| 25 | 100 | 102 | 95 | 90 | 89 | 88 | 83 | 81 | 95 | 66 | 6 |
| 26 | 99 | 107 | 111 | 112 | 114 | 110 | 105 | 98 | 99 | 45 | 6 |
| 27 | 96 | 98 | 100 | 107 | 106 | 101 | 97 | 93 | 79 | 62 | 7 |
| 28 | 102 | 104 | 105 | 100 | 98 | 102 | 104 | 101 | 93 | 56 | 5 |
| 29 | 105 | 95 | 94 | 94 | 90 | 99 | 96 | 92 | 87 | 47 | 6 |
| 30 | 110 | 102 | 105 | 90 | 88 | 85 | 83 | 81 | 90 | 92 | 5 |

Задача 4

Помещение бестарного склада муки на минипекарне имеет объем V , м³. Уровни звукового давления в октавных полосах с частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, созданные источниками шума L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , дБ и другие исходные данные приведены в таблице. В смежном помещении находится зал продажи готовой продукции. Необходимо определить уровень звукового давления в зал продажи готовой продукции $L_{\text{сум}}$, дБ, подобрать звукоизолирующую конструкцию и определить уровень шума после внедрения мероприятий по звукоизоляции. Исходные данные в таблице 1.11-1.12.

Таблица 1.11 - Исходные данные

| Номер варианта | L, дБА | Вид материала | G, кг/м ³ |
|----------------|--------|--------------------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 120 | Кирпичная кладка в два кирпича | 834 |
| 2 | 115 | Газобетонная плита | 180 |
| 3 | 122 | Кирпичная кладка 1 кирпич | 445 |
| 4 | 110 | Виброкирпичная панель | 199 |
| 5 | 108 | Керамзитобетонная панель | 578 |
| 6 | 113 | Пемзобетонная панель | 178 |
| 7 | 104 | Шлакоблоки | 798 |
| 8 | 109 | Шлакобетонная панель | 366 |
| 9 | 107 | Виброкирпичная панель | 134 |
| 10 | 100 | Кирпичная кладка ½ кирпича | 221 |
| 111 | 117 | Армированная силикатобетонная панель | 168 |
| 12 | 119 | Пемзобетонная панель | 198 |
| 13 | 111 | Шлакобетонная панель | 378 |
| 14 | 116 | Кирпичная кладка в 2 ½ кирпича | 987 |
| 15 | 107 | Газобетонная плита | 344 |
| 16 | 123 | Керамзитобетонная плита | 634 |
| 17 | 117 | Стеклоблоки | 94 |
| 18 | 109 | Армированная силикатобетонная панель | 167 |
| 19 | 116 | Пемзобетонная панель | 169 |
| 20 | 126 | Шлакоблоки | 856 |
| 21 | 120 | Кирпичная кладка в два кирпича | 834 |

Продолжение таблицы 1.11

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|-----|----------------------------|-----|
| 22 | 115 | Газобетонная плита | 180 |
| 23 | 122 | Кирпичная кладка 1 кирпич | 445 |
| 24 | 110 | Виброкирпичная панель | 199 |
| 25 | 108 | Керамзитобетонная панель | 578 |
| 26 | 113 | Пемзобетонная панель | 178 |
| 27 | 104 | Шлакоблоки | 798 |
| 28 | 109 | Шлакобетонная панель | 366 |
| 29 | 107 | Виброкирпичная панель | 134 |
| 30 | 100 | Кирпичная кладка ½ кирпича | 221 |

Таблица 1.12 – Исходные данные

| Вариант | Источник шума | | Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении, дБ в октавных полосах частот, Гц | | | | | | | | | Объем помещения, V, м ³ | | |
|---------|-----------------------|---|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------------------------------------|----|----|
| | | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | a | b | h |
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 22 | 8 | 4 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 2 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 32 | 10 | 5 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |

Продолжение таблицы 1.12

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | Моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | 25 | 7 | 3 |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 3 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 30 | 9 | 6 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 4 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 24 | 10 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 5 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 24 | 10 | 5 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 6 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 15 | 10 | 5 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 7 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 32 | 15 | 6 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |

Продолжение таблицы 1.12

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 8 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 33 | 13 | 2,8 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 9 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 24 | 11 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 10 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 23 | 9 | 4 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 11 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 25 | 16 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 12 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 35 | 10 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |

Продолжение таблицы 1.12

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| | Моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 13 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 15 | 6 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 14 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 23 | 9 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 15 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 24 | 8 | 2,8 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 16 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 19 | 6 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 17 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 17 | 8 | 2,9 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |

Продолжение таблицы 1.12

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 18 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 28 | 9 | 2,8 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 19 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 30 | 15 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 20 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 19 | 5 | 2,8 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 21 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 19 | 9 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 22 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 17 | 6 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |

Продолжение таблицы 1.12

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 23 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 28 | 14 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 44 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 24 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 15 | 8 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 25 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 19 | 5 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 26 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 23 | 6 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 27 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 25 | 5 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |

Продолжение таблицы 1.12

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 28 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 25 | 8 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |
| 29 | Мясорубка | 1 | 94 | 94 | 96 | 91 | 92 | 88 | 89 | 93 | 90 | 29 | 6 | 3 |
| | Куттер | 2 | 100 | 106 | 113 | 10 | 114 | 112 | 100 | 106 | 101 | | | |
| | Фаршемешалка | 3 | 105 | 108 | 105 | 102 | 100 | 110 | 107 | 104 | 103 | | | |
| | Клипсатор для колбас | 4 | 89 | 90 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| 30 | Тестомес | 1 | 91 | 91 | 92 | 96 | 103 | 104 | 106 | 107 | 95 | 19 | 8 | 3 |
| | Раскаточная установка | 2 | 76 | 78 | 82 | 89 | 90 | 94 | 94 | 91 | 87 | | | |
| | моечная машина | 3 | 86 | 89 | 100 | 106 | 106 | 113 | 112 | 110 | 102 | | | |
| | Роликовый транспортер | 4 | 80 | 85 | 88 | 90 | 100 | 102 | 98 | 96 | 92 | | | |

Задача 5

Рассчитать требуемую звукоизоляцию кожуха на просеиватель «Пиорат», расположенный в помещении минипекарни, имеющие следующие габаритные размеры длина l , м; ширина, b ; высота h , м. Уровни звукового давления на рабочем месте $L_{p.m.}$, дБ, для октавных полос с частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц и другие исходные данные приведены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 - Исходные данные

| Номер варианта | Уровень звукового давления, создаваемый источником шума на рабочем месте $L_{p.m.}$, дБ в октавных частотах, Гц | | | | | | | | | Габаритные размеры оборудования, м | | |
|-------------------|--|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|-----|-----|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | l | b | h |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 102 | 104 | 105 | 100 | 98 | 102 | 104 | 101 | 90 | 3 | 1.5 | 1 |
| 2 | 90 | 95 | 94 | 94 | 90 | 85 | 76 | 72 | 61 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 100 | 102 | 95 | 90 | 88 | 85 | 83 | 81 | 79 | 2.4 | 2 | 1 |
| 4 | 90 | 93 | 96 | 100 | 104 | 107 | 108 | 105 | 100 | 3 | 1.5 | 1.5 |
| 5 | 86 | 89 | 90 | 91 | 91 | 89 | 85 | 81 | 82 | 2 | 1.2 | 1 |
| 6 | 90 | 95 | 94 | 94 | 91 | 91 | 89 | 85 | 85 | 2.8 | 1.6 | 2 |
| 7 | 101 | 105 | 106 | 108 | 99 | 97 | 96 | 93 | 90 | 2.2 | 1 | 0.9 |
| 8 | 99 | 101 | 108 | 110 | 108 | 105 | 100 | 96 | 90 | 3.2 | 1.8 | 1.3 |
| 9 | 90 | 93 | 96 | 100 | 104 | 107 | 108 | 98 | 97 | 3 | 2.2 | 1 |
| 10 | 89 | 90 | 91 | 99 | 100 | 106 | 104 | 100 | 95 | 1.4 | 2 | 1.5 |
| 11 | 94 | 90 | 97 | 89 | 88 | 85 | 84 | 84 | 82 | 1.5 | 1.5 | 1 |
| 12 | 90 | 95 | 94 | 94 | 90 | 91 | 89 | 85 | 85 | 2.1 | 1.2 | 2 |
| 13 | 97 | 98 | 96 | 99 | 91 | 87 | 86 | 85 | 84 | 2.7 | 1.1 | 0.9 |
| 14 | 102 | 104 | 105 | 100 | 98 | 97 | 98 | 96 | 99 | 3 | 1 | 1.3 |
| 15 | 88 | 87 | 89 | 94 | 96 | 97 | 91 | 90 | 86 | 2 | 2 | 3 |
| 16 | 78 | 85 | 89 | 90 | 95 | 95 | 98 | 100 | 98 | 3 | 1.6 | 1 |
| 17 | 87 | 88 | 90 | 93 | 100 | 10 | 106 | 98 | 90 | 2 | 2 | 1.5 |

Продолжение таблицы 1.13

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 18 | 95 | 94 | 92 | 94 | 101 | 101 | 99 | 98 | 91 | 1.6 | 2 | 1 |
| 19 | 93 | 94 | 93 | 92 | 96 | 97 | 99 | 97 | 95 | 2 | 3 | 1 |
| 20 | 90 | 101 | 95 | 95 | 99 | 105 | 105 | 103 | 99 | 1.8 | 2 | 1 |
| 21 | 102 | 104 | 105 | 105 | 98 | 102 | 104 | 101 | 90 | 3 | 1.5 | 0.9 |
| 22 | 90 | 95 | 94 | 94 | 90 | 85 | 76 | 72 | 61 | 2 | 2 | 1 |
| 23 | 100 | 102 | 95 | 90 | 88 | 85 | 83 | 81 | 79 | 2.4 | 2 | 2.5 |
| 24 | 90 | 93 | 96 | 100 | 104 | 107 | 108 | 105 | 10 | 3 | 1.5 | 2 |
| 25 | 86 | 89 | 90 | 91 | 91 | 89 | 85 | 8 | 82 | 2 | 1.2 | 0.9 |
| 26 | 90 | 95 | 94 | 94 | 91 | 91 | 89 | 85 | 85 | 2.8 | 1.6 | 1 |
| 27 | 101 | 105 | 106 | 108 | 99 | 97 | 96 | 93 | 90 | 2.2 | 1 | 1 |
| 28 | 99 | 101 | 108 | 96 | 108 | 105 | 100 | 96 | 90 | 3.2 | 1.8 | 3 |
| 29 | 90 | 93 | 96 | 99 | 104 | 107 | 108 | 98 | 97 | 3 | 2 | 1 |
| 30 | 89 | 90 | 91 | 94 | 100 | 106 | 104 | 100 | 95 | 1.4 | 2 | 1.5 |

2 Практическое занятие №2

Расчет виброамортизаторов

2.1 Основные сведения

Оборудование предприятий пищевой промышленности, как правило, является источником вибрации. Например, различного вида сита (рисунок 2.1) используются для отделения примесей от основного продукта, для измельчения или отделения одной фракции от другой и являются мощным источником вибрации.



Рисунок 2.1 – Грубое сито для разделения мелкозернистых сыпучих продуктов

Вибрация – это процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Вибрация характеризуется частотой колебаний, амплитудой, скоростью и ускорением.

Колебания механических тел с частотой ниже 20 Гц воспринимаются как вибрация, а выше – одновременно как вибрация и шум. Особенно вредна вибрация с частотой 6-9 Гц из-за возможности резонанса клеток организма человека, имеющих собственную частоту колебаний порядка 8 Гц. Для головы человека резонансной является вибрация частотой 17-25 Гц. Резонансные явления вибраций могут

вызывать механические повреждения организма человека. При увеличении амплитуды колебаний увеличивается энергия вибраций, что приводит к нарушению функций организма, деформациям и уменьшению подвижности суставов. В диапазоне частот 2-12 Гц появляются болезненные ощущения в грудной клетке, боли в пояснице, полости рта, гортани, в некоторых мышцах.

Вибрационная патология стоит на втором месте (после пылевых) в среде профессиональных заболеваний человека. При воздействии общей вибрации наблюдается головокружение, расстройство координации движения, симптомы укачивания. Снижается острота зрения на 40 %.

Особенно опасен один из видов локальной вибрации, так называемая толчкообразная вибрация, она вызывает микротравмы различных тканей с последующими реактивными изменениями физиологии человека.

Вибрационная болезнь от воздействия общей вибрации и толчков регистрируется у водителей транспорта, у рабочих заводов железобетонных изделий. Бич современного производства в машиностроении – локальная вибрация. Наиболее ей подвержены люди, работающие с ручным механизированным инструментом. Она вызывает спазмы сосудов кисти, предплечья, нарушая снабжение конечностей кровью. Также при этом происходит отложение солей в суставах пальцев, что влечет за собой уменьшение их подвижности.

Сроки заболевания вибрационной болезнью зависят от времени непрерывного контакта с вибрацией и суммарного времени воздействия вибрации за смену. Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила поведения с виброопасными механизмами. ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования». Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Защита от вредного воздействия вибрации достигается исключением или уменьшением её вредного воздействия путем автоматизации управления вибрирующим оборудованием, применением демпфирующих и уравнивающих

колебательные процессы устройств, установкой виброизоляторов и виброгасителей [1].

Виброизоляция заключается в уменьшении передачи колебаний от источника возбуждения к защищаемому объекту путем введения в колебательную систему дополнительной упругой связи. Эта связь препятствует передаче энергии либо от колеблющегося агрегата к основанию, либо от колеблющегося основания к человеку или к защищаемым конструкциям [2].

Показателем эффективности какого-либо амортизатора является **коэффициент передачи виброизоляции K_n** . Этот коэффициент показывает, какая доля динамической силы агрегата передается амортизатором фундаменту, на котором стоит человек. Исходя из этого, виброизоляция тела человека тем лучше, чем меньше значение этого коэффициента.

$$K_n = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (2.1)$$

где K_n – коэффициент передачи вибрации;

f – частота вынужденных колебаний, Гц;

f_0 – частота собственных колебаний, Гц.

Величина собственных колебаний по статической осадке амортизатора рассчитывается по формуле

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{x_{CT}}}, \quad (2.2)$$

где f_0 – частота собственных колебаний, Гц;

x_{CT} – величина статической осадки материала, м (см. таблицу Б.1 приложения Б).

2.2 Пример решения задачи

Определить какая доля (в %) от вибрации частотой 110 Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладками из пробки толщиной 4 см и войлока различной степени жесткости толщиной 15 см. Сравнить результаты.

Решение:

Определяем статическую осадку амортизаторов, см:

Для мягкого войлока толщиной 15 см:

$$X_{ст} = 0,010 \cdot h = 0,010 \cdot 15 = 0,15 \text{ см}$$

Число оборотов электродвигателя:

$$n = f \cdot 60 = 110 \cdot 60 = 6600 \text{ об/мин}$$

Определяем коэффициент виброизоляции:

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{ст} \cdot n^2} = \frac{9000000}{0,15 \cdot 6600^2} = \frac{9000000}{6534000} = 1,38 \%$$

Для войлока жесткого толщиной 15 см:

$$X_{ст} = 0,0155 \cdot 15 = 0,2325 \text{ см}$$

$n = 6600 \text{ об/мин}$.

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{ст} \cdot n^2} = \frac{9000000}{0,2325 \cdot 6600^2} = \frac{9000000}{10127700} = 0,89 \%$$

Для пробки натуральной толщиной 4 см:

$$X_{ст} = 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{ см}$$

$n=6600$ об/мин

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{ст} \cdot n^2} = \frac{9000000}{0,2 \cdot 6600^2} = \frac{9000000}{8712000} = 1,03 \%$$

Вывод: Прокладкой из мягкого войлока, толщиной 15 см, 1,38 % динамических сил от вибрации 110 Гц будет передано основанию, а 98,62 % - изолировано. Из войлока средней жесткости примерно 0,9 % вибрации будет передано основанию, а 99,1 % - изолировано. Прокладкой из натуральной пробки, толщиной 4 см передано будет - 1,03 %, а изолировано - 98,97 %. Следовательно, войлок средней жесткости является более эффективным виброизолятором.

2.3 Задание для самостоятельной работы

Определить какая доля (в %) от вибрации частотой f Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладками из пробки толщиной 3 см и войлока различной степени жесткости толщиной 20 см. Сравнить результаты.

Частота вынужденных колебаний дана в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета виброизоляции

| Вариант | F , Гц |
|---------|----------|
| 1 | 2 |
| 1 | 101 |
| 2 | 115 |
| 3 | 110 |
| 4 | 105 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1 | 2 |
|----|-----|
| 5 | 118 |
| 6 | 97 |
| 7 | 114 |
| 8 | 108 |
| 9 | 100 |
| 10 | 120 |
| 11 | 127 |
| 12 | 111 |
| 13 | 102 |
| 14 | 126 |
| 15 | 116 |
| 16 | 123 |
| 17 | 98 |
| 18 | 119 |
| 19 | 106 |
| 20 | 99 |
| 21 | 105 |
| 22 | 113 |
| 23 | 107 |
| 24 | 108 |
| 25 | 100 |
| 26 | 124 |
| 27 | 115 |
| 28 | 117 |
| 29 | 98 |
| 30 | 120 |

3 Практическое занятие №3

Обеспечение необходимого воздухообмена в производственных помещениях пищевой промышленности

3.1 Типы вентиляционных систем

Переизбыток влаги, тепла, пыли и газов негативно сказывается на гигиеническом состоянии воздуха помещений. Если благодаря системе вентиляции обеспечивается необходимый воздухообмен, то на объекте соблюдаются санитарно-гигиенические требования воздуха, а также специфика производства.

При проектировании вентиляционных систем в зданиях учитывается ряд следующих факторов: в каких целях используется помещение, присутствие и распространение в воздухе объекта вредных загрязняющих веществ, подлежащие выведению и т.д.

Системы вентиляции классифицируются по ряду признаков:

- по назначению: приточные и вытяжные;
- по сфере действия: местные и общеобменные;
- по способу передвижения воздуха: естественные и механические;
- по конструкции: канальные и бесканальные.

Приточные системы подают чистый воздух, подвергающийся в специальных случаях обработке (очистка, нагревание, увлажнение), на вентилируемые объекты.

Вытяжные системы удаляют загрязненный воздух с объекта. В общем случае комплексно используют и приточные, и вытяжные системы, но при этом необходимо согласовывать их параметры производительности. В некоторых случаях применяют только вытяжную, либо приточную систему, тогда воздух поступает на объект снаружи или из соседних помещений с помощью специальных проемов, либо соответственно выводится из рассматриваемого объекта наружу или в соседние помещения.

Местные системы вентиляции обеспечивают воздухообмен на определенных участках объекта, а также их называют локализирующими. С помощью них происходит удаление загрязненного воздуха от оборудования или с различных источников загрязнения. Данные системы подают воздух в определенные точки объекта, на рабочие места (РМ), где необходимо организовать определенные метеоусловия, например, воздушные души, направляющие воздух на РМ с оборудованием, которое выделяет лучистую теплоту.

Местные системы очень эффективны, но благодаря им из-за различного характера выбросов и расположения РМ невозможно решить все задачи в области вентиляции. Для вентилирования на объекте в целом или существенной его части комплексно используют общеобменные системы в совокупности и приточные и вытяжные системы.

По способу передвижения воздуха системы вентиляции бывают естественные и механические.

Передвижение воздуха в вентиляционных системах может быть организовано в результате естественного давления, которое возникает в виду разности температур воздуха снаружи и внутри объекта, или из-за влияния на здание ветра, либо совместного действия этих источников (естественная вентиляция), или под давлением, которое создается оборудованием – вентилятором (механическая вентиляция).

Бывает организованная и неорганизованная вентиляция. При инфильтрации – неорганизованной естественной вентиляции – отработанный воздух с вредными веществами выводится через окна, щели, неплотности в строительных ограждениях, стенах, неоткрытых окнах и дверях.

Количественно величину этого воздухообмена вычислить невозможно: воздухообмен не корректируется и зависит от разности температур воздуха снаружи и внутри, скорости ветра, размера отверстий, материала ограждений, а также площади раскрываемых форточек, окон и дверей.

При аэрации – организованной естественной вентиляции воздухообмен в помещении осуществляется через створки фрамуг, каналы, вытяжные трубы и

насадки (рис. 3.1). Данный тип вентиляция часто используется в промышленности. При аэрации воздух поступает на объект и выводится из него через специальные отводные отверстия, располагаемые на различной высоте с наветренной и подветренной сторон здания. В теплый период открывают нижние отверстия на высоте от 0,3 до 1,2 м от пола (рисунок 3.1, а), а в холодный - верхние на высоте не ниже 4 м от пола (рисунок 3.1, б), чтобы холодный воздух имел возможность нагреться до момента попадания в воздух РМ. При аэрации появляется возможность рассчитать и скорректировать воздухообмен на объекте.

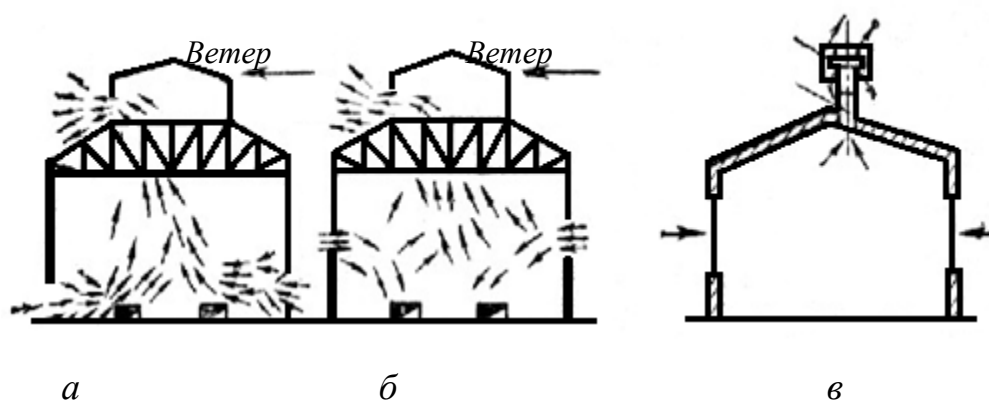
Чтобы эффективно использовать силу ветра при естественной организованной вентиляции применяют специальные дефлекторы (рисунок 3.1, в). Под действием силы ветра в патрубке дефлектора образуется разрежение.

Воздух с объекта по отводу перемещается вверх к патрубку, а патрубки посредством дефлектора наружу. Чем выше сила ветра, тем больше филировка, и поэтому, продуктивнее функционирует дефлектор.

Дефлектор монтируют на более возвышенных областях кровли (выше конька), таким образом, что вблизи не было бы высоких сооружений зданий, которые смягчают поток воздуха, и возле дефлектора может появиться увеличенное давление. В таком исходе дефлектор станет не сбывать загрязненный воздух из помещения, а качать его из атмосферы.

Аэрацию лучше использовать в местах с большими тепловыделениями, потому что извлечение их использованием механической вентиляции (с применением вентиляторов) предписывает очень большое количество воздуха, а из этого вытекают большие рабочих затрат.

Конструкции естественной вентиляции элементарнее, экономнее по стоимости, но подчиненное положение работы данных систем от влияния переменчивых факторов (температуре воздуха, направленность и скорость естественного воздушного потока, малое распределяемое давление) не дает получить при их помощи ответы на все трудные и разнообразные вопросы в направлении вентиляции помещений, тем более производственных.



а - через специально выбранные отверстия в теплое время года; б - через специально выбранные отверстия в холодное время года; в - с использованием дефлекторов ЦАГИ; 1 – дефлектор; 2 - шахта (вытяжная труба).

Рисунок 3. 1 – Организованная естественная вентиляция помещения

Следует принять во внимание, что при естественной вентиляции проходящий в помещения воздух не проходит специальное повышение или понижение температур, влаги, очищение от взвешенных частиц или вредных газов заранее; удаляемый из помещения воздух не проходит очистку.

Для функционирования систем механической вентиляции нужно потребление энергии электричества, в них используется более сложноустроенное и не дешёвое оснащение (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, пылеуловители и др.). Эти конструкции могут доставлять или удалять воздух из назначенных мест в нужном объеме самостоятельно, без меняющихся условий окружающей воздушной среды, воздух, может быть подвергнут разным видам обработки (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.).

По конструкции системы вентиляции бывают каналные и бесканальные.

Из вышесказанного, любую систему вентиляции допустимо описать по следующим признакам: по предназначению, область действия, способу побуждения, конструктивным спецификам.

Основные виды вентиляции показаны на рисунке 3.2.

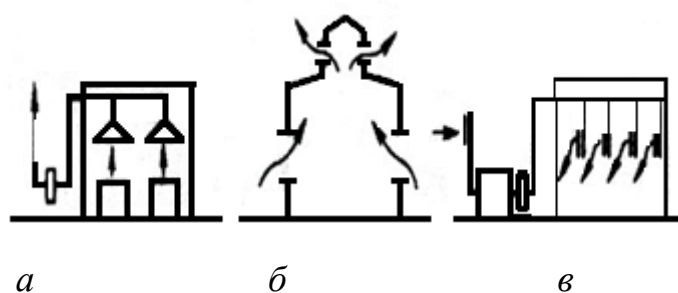


Рисунок 3.2 – Схемы основных видов вентиляционных систем

Показаны ключевые виды:

- система вытяжная, местная, механическая, канальная (удаление выделяющихся вредностей от технологического оборудования) – локализирующая вентиляция (рисунок 3.2, а);

- система приточная (или вытяжная), общеобменная, естественная, бесканальная (аэрация, приток воздуха через открывающиеся фрамуги окон) (удаление – через фонарь) (рисунок 3.2, б);

- система приточная, общеобменная, механическая, канальная (рисунок 3.2, в).

В промышленных зданиях, где обуславливаются разные вредные факторы (тепло, влага, газы, пары, пыль) и выделение их протекает в весьма разных условиях (сосредоточенно, рассредоточение, на различных уровнях), чаще нельзя обойтись только одной из систем, то есть либо местной либо общеобменной.

В производственных помещениях для устранения воздуха от местных источников служат системы местной вытяжной вентиляции; для подачи воздуха на рабочие места со специальными требованиями, к примеру, у источников лучевого тепла, используют местные приточные системы (воздушные души) в этих же помещениях для устранения вредных веществ, которые не могут быть локализованы и поступают в воздух помещения, применяют общеобменные вытяжные системы; для транспортировки воздуха в помещение с его размеренным распространением служат приточные общеобменные системы.

3.2 Определение воздухообмена в помещениях

Как правило, в производственных помещениях совершается одновременное выделение нескольких видов вредных факторов (тепла, газов, паров). В общем случае требуется определить воздухообмен по каждому вредному фактору, затем за расчётное значение воздухообмена принять наибольшее из полученных значений. Исключением являются вещества однонаправленного действия. К таким относятся растворители (бензол, толуол, ксилол и др.).

Расчётный воздухообмен, необходимый для ликвидации этих веществ при их одновременном выделении, находят путем суммирования воздухообменов, которые были рассчитаны по каждому веществу.

3.3 Определение количества воздуха, подаваемого в помещения

За расчётное количество воздуха, который подаётся в помещения для снабжения требуемых условий воздушной среды, следует принять большую из величин Q_1 и Q_4 , полученных из расчета по формулам (3.1) – (3.4).

Расчет выполняется отдельно для теплого, переходного и холодного периодов года. Плотность воздуха принята = 1,2 кг/м³.

При расчете по избыткам явного тепла:

$$Q_1 = Q_{p.з} + \frac{3,6W_{я} - 1,2Q_{p.з}(t_{p.з} - t_{п})}{1,2(t_{yx} - t_{п})}, \quad (3.1)$$

где $Q_{p.з}$ – количество воздуха, который удаляется из рабочей зоны местными отсосами, общеобменной вентиляцией, на технологические и другие нужды, м³/ч;

$W_{я}$ – избыток теплового потока явного и полного тепла в помещении, Вт;

$t_{p.3}$ – температура воздуха, который устраняется из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, на технологические или другие нужды, °С;

t_{yx} – температура воздуха, который устраняется из помещения за границами рабочей зоны, °С;

$t_{п}$ – температура воздуха, который доставляется в помещение, °С.

При расчете по избыткам влаги:

$$Q_2 = Q_{p.3} \frac{W - 1,2Q_{p.3}(d_{p.3} - d_{п})}{1,2(d_{p.3} - d_{п})}, \quad (3.2)$$

где W – избытки влаги в помещении, г/ч;

$d_{p.3}$ – содержание влаги в воздухе, устраняемого из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, на технологические или другие нужды, г/кг;

d_{yx} – влагосодержание воздуха, устраняемого за границами рабочей зоны, г/кг;

$d_{п}$ – содержание влаги в воздухе, доставляемого в помещение, г/кг.

При расчете по избыткам полного тепла:

$$Q_3 = Q_{p.3} \frac{3,6 - 1,2Q_{p.3}(I_{p.3} - I_{п})}{1,2(I_{yx} - I_{п})}, \quad (3.3)$$

При расчете по количеству выделяющихся вредных веществ:

$$Q_1 = Q_{p.3} \frac{C - 1,2Q_{p.3}(C_{p.3} - C_{п})}{1,2(C_{p.3} - C_{п})}, \quad (3.4)$$

где W – избытки влаги в помещении, г/ч;

$d_{p,z}$ – содержание влаги в воздухе, удаляемого из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, на технологические или другие нужды, г/кг;

d_{yx} – влагосодержание воздуха, удаляемого за границами рабочей зоны, г/кг;

$d_{п}$ – содержание влаги в воздухе, доставляемого в помещение, г/кг;

$I_{p,z}$ – содержание тепла в воздухе, удаляемого из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, на технологические или другие нужды, кДж/кг;

I_{yx} – содержание тепла в воздухе, удаляемого из помещения за границами рабочей зоны, кДж/кг;

$I_{п}$ – содержание тепла в воздухе, подаваемого в помещение, кДж/кг;

C – количество вредных веществ, которые поступают в воздух помещения, мг/ч;

$C_{p,z}$ – концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемом из рабочей зоны местными отсосами, общеобменной вентиляцией, на технологические или на другие нужды, мг/м³;

C_{yx} – концентрация вредных веществ в воздухе, которая удаляется из помещения за границами рабочей зоны, мг/м³;

$C_{п}$ – концентрация вредных веществ в воздухе, которая подается в помещение, мг/м³.

Когда в воздухе помещения находятся пары и газы, образующая с ним взрывоопасные смеси, требуется провести проверочный расчет воздухообмена для того, чтобы их концентрации в воздухе помещений были меньше 5 % и не превышали нижнего предела взрываемости при параметрах наружного воздуха, который принят в расчете системы.

3.4 Частные случаи расчета воздухообмена в помещении

Воздухообмен Q (в м³/ч), который необходим для устранения из помещения паров и газов, определяют по формуле

$$Q = \frac{C}{(c_2 - c_1)}, \quad (3.5)$$

где C – величина газа или пара, которая выделяется в помещении, мг/ч;

c_2 – концентрация газа в удаляемом воздухе, мг/м³ (при удалении воздуха из рабочей зоны); $c_2 = \text{ПДК}$;

c_1 – концентрация газа в приточном воздухе, мг/м³ (если приточный воздух не содержит данный газ, то $c_1 = 0$).

Воздухообмен Q (в кг/ч) при удалении из помещения явного тепла находят по формуле

$$G = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}}}{c(t_{\text{yx}} - t_{\text{п}})}, \quad (3.6)$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыток явного тепла, которое удаляется вентиляцией, Вт;

c – удельная массовая теплоемкость воздуха, которая равна 1 кДж/(кг·К);

t_{yx} – температура воздуха, который уходит из помещения;

$t_{\text{п}}$ – температура приточного воздуха.

Количество вводимого воздуха $Q_{\text{в.в}}$ (м³/ч) рассчитывают в зависимости от величины избытка тепла, плотности, теплоемкости и температуры удаляемого и вводимого воздуха по формуле

$$Q_{\text{в.в}} = \frac{W}{\rho_{\text{в.в}} c (t_{\text{уд}} - t_{\text{в.в}})}, \quad (3.7)$$

где W – переизбыток явного тепла, которое удаляется вентиляцией, Вт;

$\rho_{в.в}$ – плотность вводимого воздуха, кг/м³;

c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг · град);

$t_{уд}$ – температура, воздуха, который удаляется из помещения;

$t_{в.в}$ – температура вводимого в помещение воздуха.

Количество вводимого воздуха (м³/ч) определяется в зависимости от величины поперечного сечения проемов и скорости воздуха в проемах:

$$Q_{в.в} = 3600Fv\mu, \quad (3.8)$$

где F – площадь проемов, м²;

v – скорость воздуха в проеме, м/с;

μ – коэффициент расхода (при створках, которые полностью открыты $\mu = 0,65$, открытых на угол 45° – $\mu = 0,44$ и на угол 30° – $\mu = 0,32$).

Скорость воздуха в проеме рассчитывают по формуле

$$v = \frac{\sqrt{2qh(\rho_{в.в} - \rho_{в.н})}}{\rho}, \quad (3.9)$$

где h – высота между серединами верхних и нижних отверстий, м;

$\rho_{в.в}$ – плотность вводимого воздуха, кг/м³;

$\rho_{в.н}$ – плотность наружного воздуха, кг/м³.

Исходя из уравнения (8) площадь проемов рассчитывают по формуле

$$F = \frac{Q_{в.в}}{3600v\mu}, \quad (3.10)$$

3.5 Расчет воздухообмена при работе вентиляционных (аспирационных) установок

Для обеспечения нормального воздухообмена и исключения образования вакуума в помещениях цеха используют вентиляционные установки.

Для начала по формуле (3.11) рассчитаем, какой будет воздухообмен i ч⁻¹ в цехе, если спроектировать один тип вентиляционных сетей с выбросом очищенного воздуха в атмосферу:

$$i = \frac{Q_{\text{общ}}}{V_n}, \quad (3.11)$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общий расход воздуха, м³/ч;

V_n – внутренний объем всех рабочих помещений, определяемый по внутренним параметрам размера здания, из чертежей общего вида цеха, м³.

Обычно $V_n = ab \cdot h$ (где a – длина, b – ширина, h – высота этажей рабочих помещений цеха). Если имеются чердаки или соединительные галереи, то их объемы и объему рабочих помещений цеха суммируют.

Если отдельные этажи рабочих помещений не имеют проемов и изолированы друг от друга, то воздухообмен определяют для каждого изолированного помещения цеха.

Когда воздухообмен, который рассчитан по формуле (3.11), не превышает допустимого (например, 1-1,5 обмена в час), то проектируют один тип вентиляционных сетей с выбросом очищенного воздуха в атмосферу. При воздухообмене превышающего допустимые значения, проектируют два или три типа сетей: первый тип с выбросом в атмосферу; второй – с организованным подводом или замкнутым циклом; третий – с рециркуляцией через всасывающий фильтр и мокрый – пылеуловитель или с кондиционированием, или применяют приточные камеры.

Величину воздуха, проектирующую на первый тип сетей с выбросом в атмосферу $Q_{\text{выб}}$ в $\text{м}^3/\text{ч}$, рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{выб}} = i_n \cdot V_n, \quad (3.12)$$

где i_n – нормально допустимый воздухообмен в рабочих помещениях.

Величину воздуха в Q_p $\text{м}^3/\text{ч}$, необходимую спроектировать на иные типы сетей, рассчитывают по формуле

$$Q_p = Q_{\text{общ}} - i_n \cdot V_n, \quad (3.13)$$

3.6 Технологические мероприятия для снижения вредных выделений в помещениях производства

В производственных помещениях вентиляция используется из-за несовершенства технологии производства и технологического оборудования: отсутствия или неэффективности укрытий оборудования, недостатка эффективности тепловой изоляции, присутствия неплотностей в коммуникациях, вследствие чего в воздух производственных помещений попадают пыль, пары, газы, тепло.

Исходя из этого, модернизация технологии уменьшает выделение вредностей и изменение функции вентиляции. В случае если вредные выделения отсутствуют или находятся в незначительном количестве, то вентиляционные системы лишь выполняют функцию поддержания оптимального микроклимата в производственных помещениях, т.е. объединяют определенные параметры температуры, относительной влажности и подвижности воздуха, которые обеспечивают прекрасное самочувствие и высокую работоспособность человека.

У большинства производств существует множество возможностей для модернизирования технологического процесса с целью исключения выделения

вредностей в природную среду. При проектировании предприятий и отдельных цехов выделяют такие технологические процессы и виды оборудования, при которых выделяется наименьшее количество вредностей в природную среду. Все виды оборудования, в которых осуществляются образование вредных веществ и выброс их в воздух помещения, должны быть укрыты и обеспечены встроенными местными отсосами. В этом оборудовании необходимо поддерживать разложение, из-за которого исключается или значительно уменьшается выделение вредных веществ в природную среду.

У большинства производств может быть применен замкнутый воздушный цикл – вентиляционно-технологическая схема, в которой воздух, который содержит вредности, не выбрасывается в природную среду после очистки, а снова попадает в аппарат или другое оборудование. Существенную роль может сыграть оборудование в производственных помещениях, где выделяется значительное количество пыли от технологического оборудования, систем централизованной вакуумной пылеуборки. В таких помещениях обязательно будут значительные отложения пыли на строительных конструкциях, технологическом оборудовании, строительных коммуникациях. Осевшая пыль приводит к вторичному пылеобразованию, также зная свойства пыли того или иного типа производства в помещениях при определенных условиях возможна пожаро- и взрывоопасная ситуация. Систематичная уборка пыли при помощи вакуумной системы, осуществляемая как технологическое мероприятие, предотвращает упомянутые неблагоприятные явления.

У большого количества предприятий пищевой промышленности существенная часть оборудования имеет высокую температуру поверхности и, поэтому, является источником выделения тепла. Для уменьшения тепловыделений требуется изолировать данные поверхности. Применяют эффективную изоляцию, при которой объем и масса теплоизоляционного слоя невелики.

3.7 Пример решения задач

Задача 1

Производится разгрузка мешков с мукой на мучном складе кондитерского предприятия. Для препятствия прохождению холодного воздуха с улицы во время разгрузки предусмотрено применение воздушной завесы смешивающего типа и постоянного действия, которая производит забор воздуха со склада с температурой $t_{\text{в}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Число рабочего персонала, входящих на склад в течение часа, $n = 100$ человек. Конструкция входа на склад – одинарные двери, вестибюль – открытого типа. Температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = -32 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температура смеси наружного и внутреннего воздуха $t_{\text{см}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температура воздуха завесы $t_{\text{з}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, высота двери $h_{\text{в}} = 2 \text{ м}$, площадь створки двери $F_{\text{вх}} = 4 \text{ м}^2$, высота помещения $h_{\text{пом}} = 5 \text{ м}$, коэффициент расхода $\mu_{\text{вх}} = 0,7$ (определять по таблице 3.1), поправочный коэффициент $k = 0,05$ (определять по таблице В.1 приложения В). Рассчитать тепловую завесу мучного склада.

Решение:

Определяем массовый расход воздуха завесы, кг/ч:

$$G_{\text{з}} = 3600 F_{\text{вх}} k \mu_{\text{вх}} \frac{t_{\text{см}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{з}} - t_{\text{см}}} \sqrt{2gh_{\text{з}} \rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}} \rho_{\text{см}}}, \quad 3.14$$

где $t_{\text{см}}$ – температура смеси наружного и внутреннего воздуха (таблица 3.1);

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха;

$t_{\text{з}}$ – температура воздуха завесы;

$F_{\text{вх}}$ – площадь створки двери;

$\mu_{\text{вх}}$ – коэффициент расхода $\mu_{\text{вх}}$ (таблица 3.2);

k – поправочный коэффициент для учета числа проходящих людей, места забора воздуха для завесы и типа вестибюля (таблица В.1 приложения В);

g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

ρ_H – плотность воздуха, кг/м³, при температуре наружного воздуха t_H ($\rho_H = 1,464$ кг/м³);

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³, при средней по высоте помещения температуре внутреннего воздуха t_B ($\rho_B = 1,213$ кг/м³);

ρ_{CM} – плотность воздуха, кг/м³, при температуре смеси наружного и внутреннего воздуха t_{CM} ($\rho_{CM} = 1,269$ кг/м³).

Расчетную температуру, °С, смеси воздуха, поступающего в помещение через наружные двери, ворота и проемы, следует принимать по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Температура смеси наружного и внутреннего воздуха

| Вид объекта | $t_{CM}, ^\circ C$ |
|--|--------------------|
| Для производственных помещений при легкой работе и работе средней тяжести и для вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий; | 12 |
| Для производственных помещений при тяжелой работе и отсутствии постоянных рабочих мест на расстоянии 6 м и менее от дверей, ворот и проемов. | 5 |

$$G_3 = 3600 \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot 0,7 \frac{5 + 32}{50 - 5} \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 1,464 - 1,213 \cdot 1,269}{1,269}$$

$$= 2071,34 \frac{кг}{ч}$$

$$h_3 = h_{ЛК} - 0,5h_B, \quad (3.15)$$

где h_3 – расчетная высота, т.е. расстояние по вертикали от центра проема, оборудованного завесой, до уровня нулевых давлений, где давления снаружи и внутри здания равны (высота нейтральной зоны), м;

h_B – высота двери,

$h_{ЛК}$ – высота лестничной клетки (если ее нет то принимается высота помещения до потолка $h_{Пом}$).

$$h_3 = 5 - 0,5 \cdot 2 = 4 \text{ м},$$

А для зданий с числом этажей больше трех:

$$h_3 = 0,5(h_{\text{ЛК}} + 2h_{\text{ЭТ}} - h_{\text{В}}), \quad (3.16)$$

где $h_{\text{ЛК}}$ – высота лестничной клетки от планировочной отметки земли, м;

$h_{\text{В}}$ – высота створки входных дверей, м;

$h_{\text{ЭТ}}$ – полная высота одного этажа, м.

Плотность воздуха относительно температуры воздуха рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{0,34848P_{\text{В}} - 0,009024h_{\text{от.В}}e^{0,0612T_{\text{В}}}}{273,15 + T_{\text{В}}}, \quad (3.17)$$

где $P_{\text{В}}$ – атмосферное давление, гПа (принять нормальным – 760 мм.рт.ст. и перевести в гПа – 1013,25),

$h_{\text{от.В}}$ – относительная влажность окружающего воздуха (принять нормальной – 40-60 %), %,

$T_{\text{В}}$ – температура окружающего воздуха, °С.

$$\rho_{\text{Н}} = \frac{0,34848 \cdot 1013,25 - 0,009024 \cdot 0,4 \cdot 2,71^{0,0612 \cdot (-32)}}{273,15 - 32} = 1,464 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{В}} = \frac{0,34848 \cdot 1013,25 - 0,009024 \cdot 0,4 \cdot 2,71^{0,0612 \cdot 18}}{273,15 + 18} = 1,213 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{СМ}} = \frac{0,34848 \cdot 1013,25 - 0,009024 \cdot 0,4 \cdot 2,71^{0,0612 \cdot 5}}{273,15 + 5} = 1,269 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_3 = \frac{0,34848 \cdot 1013,25 - 0,009024 \cdot 0,4 \cdot 2,71^{0,0612 \cdot 50}}{273,15 + 50} = 1,092 \text{ кг/м}^3$$

Таблица 3.2 – Коэффициент расхода $\mu_{\text{вх}}$ для завес смешивающего типа

| Конструкция входа | $\mu_{\text{вх}}$ |
|--|-------------------|
| Одинарные двери | 0,7 |
| Двойные двери с тамбуром, прямой проход | 0,65 |
| Тройные двери с тамбуром, прямой проход | 0,6 |
| Двойные двери с тамбуром, зигзагообразный проход | 0,55 |
| Тройные двери с тамбуром, зигзагообразный проход | 0,4 |
| Вращающиеся двери | 0,1 |

Примечания:

- Открытым считается вестибюль, не отделенный дверями от лестничной клетки и лифтового холла; закрытым-вестибюль, снабженный дверями перед лестничной клеткой и лифтовых холлом.
- Максимальная пропускная способность одной створки двери 1500 чел/ч, поэтому при устройстве нескольких параллельно расположенных входных дверей и проходе через них до 1500 чел/ч расчет производят по площади одной открываемой створки. При проходе через них более 1500 чел/ч значение $F_{\text{вх}}$ увеличивают в отношении $n/1500$ с округлением до ближайшего большего целого числа. В этом случае коэффициент k принимают в зависимости от n , деленного на это целое число.

Тепловая мощность калориферов завесы, Вт:

$$Q_3 = 0,278G_3 t_3 - t_{\text{нач}} , \quad (3.18)$$

где G_3 – массовый расход воздуха завесы,

t_3 – температура воздуха завесы,

$t_{\text{нач}}$ – температура воздуха, забираемого для завесы (принимается равной температуре смеси наружного и внутреннего воздуха – $t_{\text{см}}$).

$$Q_3 = 0,278 \cdot 2071,34 \cdot 50 - 5 = 25912,35 \text{ Вт},$$

Ширина щели завесы, м:

$$B_{\text{щ}} = \frac{G_3}{3600 \rho_3 h_3 n_k v_{\text{вых}}}, \quad (3.19)$$

где h_3 – длина щели завесы ($h_3 = 1$ м),

$v_{\text{вых}}$ – скорость выхода воздуха ($v_{\text{вых}} = 8$ м/с),

n_k – количество раздаточных коробов ($n_k = 1$),

ρ_3 – плотность воздуха, кг/м³, при температуре воздуха завесы t_3 .

$$B_{\text{щ}} = \frac{2071,34}{3600 \cdot 1,092 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 8} = 0,066 \text{ м} = 66 \text{ мм}$$

В настоящее время в России на рынке представлены воздушные завесы импортного производства. Из отечественных производителей завесы производят ИННОВЕНТ, ТЕПЛОМАШ и др. Наиболее часто применяют завесы с горизонтальным расположением раздаточного короба над дверями.

Задача 2

Определить количество воздухораспределителей вентиляции пекарного цеха и действительную скорость на выходе из решеток. Размеры помещения 28 x 8 x 3,2 м. Расчетный воздухообмен $L = 3470$ м³/ч. Нормируемая температура воздуха в помещении $t_v = 18$ °С, рекомендуемая скорость движения воздуха в помещении $v_{\text{рек}} = 3$ м/с.

Решение:

Площадь поперечного сечения воздухораспределителей A , м^2 :

$$A = \frac{L}{v_{\text{рек}} \cdot 3600}, \quad (3.20)$$

где L – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$v_{\text{рек}}$ – рекомендуемая скорость движения воздуха в воздухораспределителе, $\text{м}/\text{с}$.

$$A = \frac{3470}{3 \cdot 3600} = 0,32 \text{ м}^2.$$

Количество воздухораспределителей (решеток) $n_{\text{реш}}$:

$$n_{\text{реш}} = \frac{A}{A_0}, \quad (3.21)$$

где A_0 – площадь рабочей поверхности решетки, определяемая по таблице 4.

Таблица 3.4 – Характеристики решеток

| Модель решетки | 500-4 | 500-6 | 500-8 | 1000-4 | 1000-6 | 1000-8 | 1500-4 | 1500-6 | 1500-8 |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $A_0, \text{м}^2$ | 0,025 | 0,039 | 0,052 | 0,059 | 0,088 | 0,118 | 0,125 | 0,138 | 0,184 |

Принимаем к установке воздухораспределители с площадью $A_0 = 0,025$, определяем их количество:

$$n_{\text{реш}} = \frac{0,32}{0,025} = 13.$$

Определяем действительную скорость движения воздуха в каналах, воздуховодах, воздухораспределителях, v_0 м/с:

$$v_0 = \frac{L}{n_{\text{реш}} \cdot A_0 \cdot 3600}, \quad 3.22$$

Определяем действительную скорость движения воздуха на выходе из решеток:

$$v_0 = \frac{3470}{13 \cdot 0,025 \cdot 3600} = 2,75 \text{ м/с.}$$

Задача 3

В помещении горячего цеха имеются теплоизбытки Q в количестве 500 ккал/ч. Температура наружного воздуха $t_{\text{нар}} = 23$ °С, высота h от пола помещения до центра фрамуг, предназначенных для удаляемого воздуха 10 м, барометрическое давление 760 мм.рт.ст. Определить необходимый воздухообмен в помещении.

Решение:

Температура уходящего воздуха определяется $t_{\text{ух}}$, °С:

$$t_{\text{ух}} = t_{\text{р.з}} + \varphi \cdot h - 2, \text{ °С} \quad (3.23)$$

где $t_{\text{р.з}}$ – температура воздуха в рабочей зоне на высоте 2 м от пола (для помещений горячих цехов согласно СНиП повышается на 3 °С по сравнению с наружной температурой);

φ – величина, обозначающие изменение температуры по высоте помещения температурный градиент. Принимается для горячих цехов $\varphi = 1$ для помещений небольшой высоты с более низкими температурами $\varphi = 0,2$;

2 - высота рабочей зоны, м;

h - расстояние от пола до центра фрамуг окон, м.

$$t_{yx} = 26 + 1 \cdot 10 - 2 = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Необходимый воздухообмен по избыткам тепла L , $\text{м}^3/\text{ч}$ определяется из следующего выражения:

$$L = \frac{Q}{C \cdot \rho \cdot t_{yx} - t_{пр}}, \quad (3.24)$$

где Q - избыточное тепло выделяемое в помещении, ккал/ч;

C - удельная весовая теплоемкость воздуха равна $0,24$, ккал/кг \cdot $^{\circ}\text{C}$;

ρ - плотность воздуха, при нормальных условиях (760 мм.рт.ст.) принимается $\rho = 1,29$, кг/м 3 ;

t_{yx} - температура воздуха выходящего из помещения, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{пр}$ - температура приточного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ ($t_{пр} = t_{нар}$).

$$L = \frac{500}{0,24 \cdot 1,29 \cdot 34 - 23} = 146,817 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Задача 4

Рассчитать общее количество теплоизбытка пекарного зала $Q_{пз}$, которое необходимо будет удалить с помощью систем вентиляции. Количество печей (АЦХ) в пекарном зале $K = 8$ с производительностью $P = 55$ т/сут. Тепловыделение от одной печи $q_1 = 233$ кВт, при вентиляции пекарной камеры тепловыделение на 1 кг хлеба – $q_2 = 156$ кДж/кг, тепловыделение от 1 кг готового хлеба $q_4 = 40$ кДж. Масса, подаваемых в печь, металлических листов – $G_M = 30$ кг, у которых удельная теплоемкость металла $c_M = 197$ Дж/(кг К), с начальной и конечной температурой форм и листов $t_H = 180$ $^{\circ}\text{C}$ и $t_K = 17$ $^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Решение:

Печь марки АЦХ является конвейерной люлечной печью сквозного действия с комбинированной системой обогрева пекарной камеры (нагревательные пароводяные трубки и дымогарные трубы) и предназначена в основном для выпечки формового ржаного и пшеничного хлеба. Особенностью этой печи является наличие камеры для окончательной расстойки теста, связанной с печью единым конвейером. В хлебопекарной промышленности разработано несколько вариантов этой печи, отличающихся друг от друга размещением греющей поверхности в пекарной камере, количеством ярусов цепного конвейера (три, пять и семь) и производительностью. Топка печи приспособлена для сжигания мазута, газа, дров и угля.

Тепло в пекарный зал поступает от:

- ограждений печей – Q_1 ;
- вентиляции пекарных камер – Q_2 ;
- горячих форм, листов – Q_3 ;
- горячего хлеба – Q_4 .

Проводим расчет общей вентиляции пекарного зала ($Q_{ПЗ}$):

$$Q_{ПЗ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 . \quad (3.25)$$

Тепло, выделяемое ограждениями печи (в кВт):

$$Q_1 = q_1 K, \quad (3.26)$$

где q_1 – тепловыделение от одной печи, кВт;

K – количество печей.

$$Q_1 = 233 \cdot 8 = 1864 \text{ кВт}$$

Тепло, выделяемое вследствие вентиляции пекарной камеры (кВт):

$$Q_2 = \frac{q_2 P}{3600} \eta, \quad (3.27)$$

где q_2 – тепловыделение на 1 кг хлеба, кДж/кг (до 160);

P – производительность печи, кг/ч;

η – коэффициент, учитывающий время открытия дверцы печи и зависящий от типа печи и ассортимента, % ($\eta = 1$).

$$Q_2 = \frac{156 \cdot 55}{3600} \cdot 1 = 2,38 \text{ кВт}$$

Тепло от горячих форм, листов (в Вт):

$$Q_3 = \frac{G_M c_M (t_H - t_K)}{3,6}, \quad (3.28)$$

где G_M – масса металлических листов, кг;

c_M – удельная теплоемкость металла, Дж/(кг К);

t_H и t_K – начальная и конечная температуры форм и листов, °С.

$$Q_3 = \frac{30 \cdot 197(180-17)}{3,6} = 267,591 \text{ кВт.}$$

В среднем тепловыделение от форм и листов составляет 10-12 кДж на 1 кг хлеба. Тепло от выходящих в пекарный зал конвейеров составляет 40-60 кДж на 1 кг хлеба.

Тепло от горячего хлеба (в Вт):

$$Q_4 = \frac{q_4 P}{3,6}, \quad (3.29)$$

где q_4 – тепловыделение от 1 кг хлеба, Дж ($q_4 = 40$ кДж).

$$Q_4 = \frac{40 \cdot 55}{3,6} \cdot 1 = 0,611 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{ПЗ}} = 1864 + 2,38 + 267,591 + 0,611 = 2135,032 \text{ кВт}$$

3.8 Задание для самостоятельной работы

Задача 1

Производится разгрузка мешков с мукой на мучном складе кондитерского предприятия. Для препятствия прохождению холодного воздуха с улицы во время разгрузки предусмотрено применение воздушной завесы смешивающего типа и постоянного действия, которая производит забор воздуха со склада с температурой $t_{\text{в}}$. Число рабочего персонала, входящих на склад в течение часа, n человек. Конструкция входа на склад – одинарные двери, вестибюль – открытого типа. Температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$, температура смеси наружного и внутреннего воздуха $t_{\text{см}}$, температура воздуха завесы t_3 , высота двери $h_{\text{в}}$, площадь створки двери $F_{\text{вх}}$, высота помещения $h_{\text{пом}} = 5$ м, коэффициент расхода $\mu_{\text{вх}}$ (определять по таблице 2), поправочный коэффициент k (определять по таблице 3). Рассчитать тепловую завесу мучного склада по вариантам (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Исходные данные

| Вариант | $t_{в}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $t_{н}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $t_{з}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $h_{в}, \text{ м}$ | $F_{вх}, \text{ м}^2$ | n |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 10 | -32 | 50 | 2,5 | 3 | 150 |
| 2 | 15 | -30 | 45 | 3 | 4,2 | 200 |
| 3 | 17 | -36 | 49 | 2,6 | 3,2 | 180 |
| 4 | 11 | -35 | 47 | 2,2 | 3,4 | 300 |
| 5 | 18 | -31 | 46 | 3,1 | 4,2 | 250 |
| 6 | 13 | -35 | 48 | 3 | 3,6 | 140 |
| 7 | 14 | -29 | 50 | 2,5 | 2,9 | 110 |
| 8 | 12 | -27 | 51 | 2,8 | 3,4 | 209 |
| 9 | 14 | -34 | 50 | 2,3 | 2,9 | 315 |
| 10 | 13 | -28 | 45 | 2,7 | 3,6 | 155 |
| 11 | 10 | -26 | 49 | 3 | 3,5 | 140 |
| 12 | 16 | -30 | 47 | 2,5 | 3 | 190 |
| 13 | 17 | -36 | 46 | 2,2 | 2,9 | 300 |
| 14 | 12 | -38 | 45 | 3,2 | 3,9 | 100 |
| 15 | 13 | -34 | 48 | 2,8 | 3,5 | 210 |
| 16 | 14 | -31 | 50 | 2,3 | 2,9 | 180 |
| 17 | 16 | -25 | 47 | 2,6 | 3,3 | 100 |
| 18 | 15 | -29 | 49 | 3,5 | 3,9 | 150 |
| 19 | 17 | -32 | 50 | 3 | 3,8 | 300 |
| 20 | 14 | -34 | 46 | 3,2 | 3,8 | 260 |

Продолжение таблицы 3.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|----|-----|----|-----|-----|-----|
| 21 | 10 | -31 | 49 | 2,9 | 3,5 | 170 |
| 22 | 15 | -35 | 50 | 2,1 | 3 | 120 |
| 23 | 13 | -39 | 51 | 2,6 | 3,3 | 240 |
| 24 | 14 | -32 | 44 | 2,9 | 3,7 | 310 |
| 25 | 11 | -29 | 47 | 2,4 | 3 | 130 |
| 26 | 16 | -24 | 50 | 2,3 | 3,1 | 100 |
| 27 | 13 | -29 | 49 | 3 | 3,8 | 190 |
| 28 | 14 | -40 | 46 | 3,1 | 3,9 | 160 |
| 29 | 12 | -35 | 48 | 2,3 | 3 | 300 |
| 30 | 10 | -32 | 50 | 2,8 | 3,6 | 285 |

Задача 2

Определить количество воздухораспределителей вентиляции пекарного цеха и действительную скорость на выходе из решеток. Размеры помещения 28 x 8 x 3,2 м. Расчетный воздухообмен L , м³/ч. Нормируемая температура воздуха в помещении t_b , °С, рекомендуемая скорость движения воздуха в помещении $v_{рек}$, м/с. Исходные данные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Исходные данные

| Вариант | L , м ³ /ч | $v_{рек}$, м/с | Модель решетки |
|---------|-------------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 3260 | 1 | 500-4 |
| 2 | 4867 | 3 | 500-6 |
| 3 | 3876 | 5 | 500-8 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|------|---|--------|
| 4 | 3576 | 4 | 1000-4 |
| 5 | 4769 | 2 | 1000-6 |
| 6 | 3976 | 4 | 1000-8 |
| 7 | 4976 | 1 | 1500-4 |
| 8 | 3657 | 3 | 1500-6 |
| 9 | 4987 | 5 | 1500-8 |
| 10 | 5846 | 2 | 1000-6 |
| 11 | 5937 | 4 | 1500-4 |
| 12 | 4732 | 1 | 500-8 |
| 13 | 3489 | 3 | 500-4 |
| 14 | 5123 | 2 | 1000-4 |
| 15 | 4325 | 5 | 500-6 |
| 16 | 5347 | 4 | 1000-8 |
| 17 | 3945 | 1 | 1500-6 |
| 18 | 4965 | 2 | 500-6 |
| 19 | 5843 | 4 | 1500-8 |
| 20 | 4835 | 5 | 1500-4 |
| 21 | 5347 | 2 | 500-8 |
| 22 | 3438 | 1 | 1000-6 |
| 23 | 5764 | 4 | 1500-4 |
| 24 | 4972 | 3 | 1000-4 |
| 25 | 3127 | 2 | 500-4 |
| 26 | 3467 | 4 | 500-6 |
| 27 | 5348 | 1 | 1500-8 |
| 28 | 4326 | 2 | 1000-8 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|------|---|--------|
| 29 | 5267 | 3 | 500-4 |
| 30 | 3764 | 4 | 1500-6 |

Задача 3

В помещении горячего цеха имеются теплоизбытки Q , ккал/ч. Температура наружного воздуха $t_{нар}$ °С (определить по таблице 7), высота h от пола помещения до центра фрамуг, предназначенных для удаляемого воздуха, барометрическое давление 760 мм.рт.ст. Определить необходимый воздухообмен в помещении.

Таблица 3.7 – Исходные данные

| Вариант | $t_{нар}$, °С | Q , ккал/ч | h , м | Вариант | Q , ккал/ч | h , м | $t_{нар}$, °С |
|---------|----------------|--------------|---------|---------|--------------|---------|----------------|
| 1 | 24 | 500 | 10 | 16 | 500 | 10 | 15 |
| 2 | 18 | 300 | 11 | 17 | 300 | 13 | 5 |
| 3 | 19 | 550 | 9 | 18 | 550 | 9 | 21 |
| 4 | 21 | 400 | 8 | 19 | 400 | 11 | 0 |
| 5 | 22 | 600 | 12 | 20 | 600 | 8 | 20 |
| 6 | 26 | 450 | 13 | 21 | 450 | 12 | 1 |
| 7 | 18 | 500 | 9 | 22 | 500 | 13 | 14 |
| 8 | 17 | 350 | 10 | 23 | 350 | 10 | 2 |
| 9 | 25 | 300 | 11 | 24 | 300 | 11 | 13 |
| 10 | 12 | 550 | 12 | 25 | 550 | 9 | 4 |
| 11 | 16 | 600 | 8 | 26 | 600 | 12 | 7 |
| 12 | 20 | 400 | 9 | 27 | 400 | 13 | 22 |
| 13 | 27 | 450 | 13 | 28 | 450 | 8 | 6 |
| 14 | 17 | 300 | 11 | 29 | 300 | 11 | 15 |
| 15 | 26 | 500 | 10 | 30 | 500 | 10 | 24 |

Задача 4

Рассчитать общее количество теплоизбытка пекарного зала $Q_{пз}$, которое необходимо будет удалить с помощью систем вентиляции. Количество печей (АЦХ) в пекарном зале K , шт, с производительностью P , т/сут. Тепловыделение от одной печи – q_1 , кВт, при вентиляции пекарной камеры тепловыделение на 1 кг хлеба – q_2 , тепловыделение от 1 кг готового хлеба $q_4 = 40$ кДж. Масса, подаваемых в печь, металлических листов – G_M , кг, у которых удельная теплоемкость металла c_M , Дж/(кгК), с начальной и конечной температурой форм и листов t_H и t_K соответственно °С.

Таблица 3.8 – Исходные данные

| Вариант | K | P, т/с | q_1 , кВт | q_2 , кДж/кг | G_M , кг | c_M , Дж/(кгК) | t_H , °С | t_K , °С |
|---------|----|--------|-------------|----------------|------------|------------------|------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 8 | 55 | 233 | 156 | 30 | 197 | 180 | 17 |
| 2 | 4 | 37 | 143 | 134 | 28 | 169 | 185 | 18 |
| 3 | 3 | 38 | 342 | 141 | 45 | 120 | 188 | 15 |
| 4 | 10 | 83 | 423 | 123 | 37 | 180 | 190 | 13 |
| 5 | 20 | 87 | 177 | 156 | 62 | 228 | 195 | 14 |
| 6 | 4 | 48 | 147 | 125 | 45 | 243 | 200 | 19 |
| 7 | 3 | 27 | 421 | 145 | 54 | 239 | 210 | 20 |
| 8 | 4 | 42 | 134 | 121 | 73 | 240 | 215 | 21 |
| 9 | 6 | 72 | 245 | 148 | 76 | 187 | 220 | 22 |
| 10 | 7 | 47 | 256 | 130 | 36 | 189 | 225 | 23 |
| 11 | 5 | 59 | 243 | 151 | 83 | 186 | 230 | 24 |
| 12 | 8 | 29 | 532 | 129 | 55 | 199 | 235 | 25 |
| 13 | 3 | 50 | 436 | 138 | 82 | 234 | 240 | 26 |
| 14 | 9 | 40 | 243 | 155 | 74 | 222 | 245 | 27 |

Продолжение таблицы 3.8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|
| 15 | 8 | 63 | 244 | 135 | 47 | 229 | 250 | 28 |
| 16 | 10 | 84 | 344 | 90 | 74 | 167 | 180 | 29 |
| 17 | 15 | 86 | 134 | 145 | 26 | 244 | 185 | 30 |
| 18 | 13 | 90 | 143 | 100 | 57 | 183 | 190 | 31 |
| 19 | 18 | 167 | 345 | 141 | 48 | 220 | 195 | 18 |
| 20 | 5 | 48 | 322 | 148 | 28 | 210 | 200 | 19 |
| 21 | 8 | 84 | 123 | 87 | 53 | 253 | 210 | 20 |
| 22 | 6 | 75 | 234 | 90 | 86 | 233 | 216 | 21 |
| 23 | 7 | 83 | 346 | 154 | 35 | 178 | 220 | 22 |
| 24 | 6 | 62 | 286 | 127 | 46 | 245 | 225 | 23 |
| 25 | 7 | 74 | 233 | 133 | 57 | 169 | 230 | 24 |
| 26 | 10 | 96 | 142 | 86 | 69 | 205 | 235 | 25 |
| 27 | 17 | 109 | 123 | 79 | 46 | 252 | 240 | 26 |
| 28 | 5 | 39 | 143 | 90 | 38 | 257 | 245 | 27 |
| 29 | 9 | 69 | 144 | 145 | 64 | 233 | 250 | 28 |
| 30 | 9 | 64 | 123 | 159 | 95 | 252 | 255 | 29 |

4 Практическое занятие №4

Пылеотделители и их эффективность

4.1 Определение эффективности работы пылеотделителей

Вентиляционные установки представляют совокупность специального оборудования (вентиляторов, воздухопроводов, пылеотделителей и др.). Его объединяют в системы для осуществления воздухообмена путём создания целесообразно организованных воздушных потоков в зданиях, каналах или защитных кожухах машин и аппаратов.

Это необходимо для обеспечения чистоты воздуха в помещениях, где находятся люди, и выполнения ряда технологических, транспортных, а также противозрывных и противопожарных функций.

Вентиляционные установки отсасывают воздух от технологического и транспортного оборудования, т.е. осуществляют так называемую **аспирацию**, создавая внутри рабочих пространств или защитных кожухов машин разрежение.

Работу пылеотделителей характеризуют следующие основные показатели: эффективность (или степень) очистки воздуха от пыли, производительность, гидравлическое сопротивление, удельный расход электрической энергии, стоимость очистки (в расчете на 1000 м³ воздуха).

Эффективность (или степень) очистки воздуха от пыли – это важнейший показатель, характеризующий пылеотделитель. Она показывает какая часть пыли, содержащейся в воздухе и поступающей на очистку задерживается в пылеотделителе (в %).

Эффективность работы пылеотделителей определяется по выражению:

$$\eta = \frac{a_1 - a_2}{a_1} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где a_1 и a_2 – первоначальная (до пылеотделителя) и конечная (после пылеотделителя) концентрации пыли, мг/м³.

Предварительный выбор пылеотделителей производится исходя из необходимой эффективности (таблица 1). Под эффективным улавливанием имеется в виду улавливание с эффективностью более 95 %. Пылеуловители 1-го класса отличаются большим расходом энергии (высоконапорные пылеуловители Вентури), сложностью и дорогостоящей эксплуатации (многопольные электрофильтры, рукавные фильтры). При их использовании необходимо руководствоваться инструкциями, относящимися к конкретным видам оборудования.

Классификация пыли по дисперсности (размеру частиц):

- I – очень крупнодисперсная пыль;
- II – крупнодисперсная пыль (*зерновая пыль*);
- III – среднедисперсная пыль (*мучная пыль*);
- IV – мелкодисперсная пыль;
- V – очень мелкодисперсная пыль.

Таблица 4.1 – Классификация пылеуловителей по эффективности

| Класс пылеуловителя | Размер эффективно улавливаемых частиц пыли, мм | Эффективность аппарата в зависимости от группы пыли по дисперсности, % | | | | |
|---------------------|--|--|---------|---------|---------|------|
| | | V | IV | III | II | I |
| I | Менее 0,3 | до 80 | 99,9-80 | - | - | - |
| II | Менее 2 | - | 92-45 | 99,9-92 | - | - |
| III | Менее 4 | - | - | 99-80 | 99,9-99 | - |
| IV | Менее 8 | - | - | - | 99,9-95 | 99,9 |
| V | Менее 20 | - | - | - | - | 99,9 |

Группу пыли по дисперсности определяют по специальным номограммам. Пылеуловители задерживают в основном частицы I, II, III и IV групп.

Аэрозоли V группы в пылеуловителях, как правило, эффективно не улавливаются. Поэтому, улавливание таких аэрозолей до 95 % возможно только в воздушных фильтрах 1-го класса. В этом случае применяют двух- и более ступенчатую очистку, последняя ступень которой, как правило, включает фильтры типа ФяЛ (фильтр ячеиковый).

Пылеуловители IV и V класса преимущественно применяют в качестве 1-й ступени очистки при запыленности более 5 г/м^3 . При удовлетворенности эффективностью пылеуловителей нескольких классов выбирают пылеуловитель низшего класса. Если имеются сухие и мокрые пылеуловители, выбирают пылеуловитель сухого типа. Из пылеуловителей IV и более высокого класса выбирают мокрый пылеуловитель с минимальным расходом воды.

Необходимая эффективность *многоступенчатой очистки* определяется так:

- для двухступенчатой очистки

$$E_{1,2} = E_1 + E_2 (1 - E_1) \quad (4.2)$$

- для трехступенчатой очистки

$$E_{1,2,3} = E_{1,2} + E_3 (1 - E_{1,2}) \quad (4.3)$$

где E_1, E_2, E_3 - эффективность первой, второй и третьей ступени очистки.

4.2 Примеры решения задач

Задача 1. Определить необходимую эффективность очистки пылеулавливающей установки, если первоначальная концентрация очищаемого воздуха 4000 мг/м^3 , а допускаемая конечная концентрация пыли 80 мг/м^3 . Сделайте вывод об эффективности работы пылеулавливающей установки, если согласно нормам она должна составлять 98-99 %.

Решение:

Определяем эффективность очистки пылеулавливающей установки:

$$\eta = \frac{a_1 - a_z}{a_1} * 100\% = \frac{4000 - 80}{4000} * 100\% = 98\%$$

Вывод: Расчёт показал, что эффективность очистки от пыли пылеуловителя IV класса соответствует нормам.

Задача 2. Определить необходимую эффективность второй ступени очистки двухступенчатой установки, если общая эффективность $E_{1,2} = 0,953$, а на первой ступени очистки используется сухой пылеуловитель IV класса с эффективностью 80 %.

Решение:

Определяем эффективность второй ступени очистки двухступенчатой установки:

$$E_2 = \frac{E_{1,2} - E_1}{1 - E_1} = \frac{0,953 - 0,8}{1 - 0,8} = 0,765$$

Вывод: Расчёт показал, что эффективность второй ступени очистки от пыли не соответствует нормам.

4.3 Задание для самостоятельной работы

Задача 1. Определить эффективность очистки циклона 4БЦШ, если первоначальная концентрация пыли в оборудовании a_1 мг/м³, а допускаемая конечная концентрация пыли 60 мг/м³. Сделайте вывод об эффективности работы циклона, если согласно нормам она должна составлять 98-99 %. Варианты в таблице 4.2.

Задача 2. Определить эффективность очистки матерчатого фильтра Г4-1БФМ-30, если первоначальная концентрация пыли в сети a_1 мг/м³, а допускаемая

конечная концентрация пыли 20 мг/м^3 и сделать вывод об эффективности работы аспирационной системы. Варианты в таблице 4.2 (в диапазоне выбирается любое число).

Таблица 4.2 – Варианты к задачам 1 и 2

| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
|-----------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_1, \text{ мг/м}^3$ | 200÷800 | 900÷1200 | 1400÷1800 | 2000÷2800 | 2900÷3400 | 3500÷4000 |

Задача 3. Определить необходимую эффективность второй ступени очистки двухступенчатой системы, если общая эффективность $E_{1,2} = 0,997$, а на первой ступени очистки используется пылеуловитель IV класса (циклон ЦН - 15) с эффективностью E_1 . Варианты в таблице 4.3 (в диапазоне выбирается любое число).

Таблица 4.3 – Варианты к задаче 3

| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_1, \%$ | 75÷77 | 84÷86 | 76÷78 | 81÷83 | 72÷74 | 78÷80 |

5 Практическое занятие №5

Безопасность при эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением

5.1 Классификация объектов, работающих под давлением

На пищевых предприятиях обширно применяются аппараты, сосуды, коммуникации и другое оснащение, работающее под давлением. К нему относятся водогрейные и паровые котлы, выпарные аппараты, автоклавы, компрессоры, морозильные установки, ресиверы, теплообменники, трубопроводы. Их главная угроза при эксплуатации заключается в вероятном неожиданном, собственно, что сопровождается взрывом, при котором потенциальная энергия сжатой среды в короткий промежуток времени за счет ее адиабатического расширения переходит в кинетическую энергию разлетающихся осколков разрушенного оборудования.

Производимая при адиабатическом расширении сжатой среды работа (в Дж) может быть определена по формуле

$$A = \frac{p_1 V k}{k - 1} \left(1 - \frac{p_1^{\frac{k-1}{k}}}{p_2} \right), \quad (5.1)$$

где p_1, p_2 - абсолютное давление соответственно в сосуде и в окружающей среде, МПа;

V - начальный объем газа, м³;

$k = c_p / c_v$ - показатель адиабаты, для воздуха $k = 1,41$ [здесь c_p - удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, Дж/(кг·К); c_v - тоже, при постоянном объеме, Дж/(кг·К)].

$$N = \frac{A}{t}, \quad (5.2)$$

Всё работающее под давлением оснащение делится на 2 основных класса - подлежащее и не подлежащее регистрации в органах Госпроматомнадзора. Для первого действующие критерии Госпроматомнадзора регламентируют проектирование, изготовление, использование, починка и техническое освидетельствование.

К данному оборудованию относятся: паровые котлы, работающие под давлением $> 0,07$ МПа; водогрейные котлы, работающие при температуре нагрева воды $> 115^{\circ}\text{C}$; компрессоры, сосуды а другое оснащение, работающее под давлением $> 0,07$ МПа; цистерны и бочки для перевозки сжиженных газов, давление паров в которых при температуре до 50°C выше $0,07$ МПа; сосуды и цистерны для сбережения и перевозки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих продуктов без давления и перевозки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих продуктов без давления, но опорожняемых под давлением $> 0,07$ МПа; баллоны, предназначенные для перевозки и сбережения ужатых, сжиженных и растворенных газов с трудящимся давлением $> 0,07$ МПа.

5.2 Основные причины аварий паровых и водогрейных котлов, меры их предупреждения

Пищевые предприятия потребляют много тепловой энергии в виде теплоты подогретой воды, воздуха и пара. Например, хлебобулочные изделия выпекаются при температурном режиме $160^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ в течение 10-60 мин. На макаронных фабриках продукция сушится в конвейерных сушилках с расходом воздуха до $7000 \text{ м}^3/\text{ч}$, подогретого в паровых калориферах до температуры 85°C . Расход теплоты для приготовления пивного сусла одной варки в заторном чане вместимостью 1650 кг составляет $35\,400 \text{ МДж}$.

При производстве около $22\,000$ дал в сутки безалкогольных напитков в сироповарочных, купажных отделениях, квасном и моечно-фасовочных цехах

расходуется до 15 000 кг пара. При тепловой обработке сырья на кондитерских фабриках в котлах объемом 100-300 дм³ расходуется 10-150 кг/ч пара. На технологические нужды при приготовлении 1 дал пива требуется 7,84 кг пара, а для подогрева воды на трех моечных машинах типа АММ-12 производительностью 12 000 бутылок/ч каждая при работе в 2 смены по 7 ч расходуется около 18 000 кг пара.

В связи, с этим на пищевых предприятиях широко используются паровые и водогрейные котлы, эксплуатация и обслуживание которых относятся к работам повышенной опасности. Наибольшую опасность представляют взрывы паровых котлов. Рабочее давление котлов, эксплуатируемых на хлебопекарных предприятиях, составляет 0,07 МПа, кондитерских - 0,3-1,1, сахарных - 4, безалкогольных напитков - 0,05-0,3 МПа.

Основными причинами взрывов котлов являются: нарушение правил технической эксплуатации, режимов их работы, а также должностных инструкций, требований техники безопасности вследствие несоблюдения трудовой и производственной дисциплины обслуживающим персоналом; дефекты и неисправности конструкторских узлов котлов.

Наибольшее количество аварий при эксплуатации паровых котлов происходит из-за резкого снижения уровня воды в котле. Вследствие снижения уровня воды ниже линии соприкосновения поверхности котла с горячими газами в его топочной части стены котла нагреваются выше критической температуры. При этом механические свойства металла изменяются, снижается его прочность и под давлением пара стенки выдуваются, что может закончиться взрывом.

Основными причинами превышения допустимого давления в котле являются нарушение заданного режима его работы, неисправность аппаратуры безопасности. Для предупреждения превышения допустимого давления котлы оснащаются манометрами и предохранительными клапанами.

Одной из причин перегрева котла является появление на внутренней его поверхности слоя накипи, образующейся из солей, содержащихся в питающей воде. Для предупреждения перегрева котла проводится их периодическая чистка с тем,

чтобы толщина слоя накипи на наиболее теп лона пруженных участках поверхности не превышала 0,5 мм.

Причинами скапливания в топке котла взрывоопасных газов являются нарушения режимов работы тягодутьевых устройств или подачи топлива. Для предупреждения скапливания взрывоопасных газов устанавливается аппаратура контроля тяги, которая автоматически прекращает подачу топлива к горелкам при снижении разрежения в топке котла или за ним.

Распространенными причинами взрывов котлов вследствие дефектов и неисправности основных узлов являются дефекты конструктивных элементов, снижение их механической прочности в процессе эксплуатации и неисправность аппаратуры безопасности и измерительных приборов.

К металлу, из которого изготавливаются отдельные элементы котлов, предъявляются особые требования. На используемые для этого, а также при ремонте котлов материалы органы Госпроматомнадзора выдают сертификаты.

5.3 Опасные и вредные факторы при авариях компрессоров и холодильных установок

Сжатый воздух широко используется на пищевых предприятиях. Например, при продувке линий, перекачке, барботировании и других операциях при производстве 100 дал хлебного кваса максимальный расход сжатого воздуха составляет 13 м³/ч при давлении 0,07-2 МПа, а при фасовании пива в бочки, бутылки на заводе производительностью 4 млн дал в год превышает 2000 м³/ч. На пищевых предприятиях также велико потребление холода. Воздушная охлаждающая установка для кондитерских изделий расходует 8500-12 600 м³/ч воздуха, на охлаждение которого затрачивается 25-35 кВт холода, а на указанном выше пивоваренном заводе его суточный расход при охлаждении сусле, брожении, дображивании пива и других операциях составляет 26 500 МДж.

В связи с этим на пищевых предприятиях обширно используются компрессорные морозильные установки, которые относятся к объектам, работающим под давлением.

Эти установки предполагают угрозу в результате их взрыва. Компрессорные и морозильные установки считаются источниками шума и пульсации. Морозильные установки еще предполагают угрозу вследствие того, что применяемые в них хладагенты имеют все шансы вызвать кишечные инфекции, а в свою очередь смесь хладагента с воздухом взрывоопасна.

Взрывы при работе компрессоров имеют все шансы происходить вследствие превышения давления сжатого воздуха, а еще по причине увеличения его температуры при сжатии, образования взрывоопасных консистенций из воздуха и тяжелых товаров разложения смазочных масел.

Обусловленные данными основаниями взрывы появляются при нарушениях правил безопасности по уходу, обслуживанию и эксплуатации компрессоров. Они приводят к разрушению как самого компрессора, например и строения, в котором он находится, а еще к травмам с нелегкими последствиями.

Процесс сжатия воздуха подчиняется закону, характеризующему уравнением политропы:

$$pV^m = const, \quad (5.3)$$

где p - абсолютное давление воздуха, Па,

V - объем воздуха, м³;

m - показатели политропы, т. е. процесса, при котором сохраняется постоянной теплоемкость системы.

Величина показателя политропы определяется из равенства

$$m = \frac{c - c_p}{c - c_v}, \quad (5.4)$$

где c - удельная теплоемкость воздуха при рассматриваемых давлений в температуре, Дж / (кг* К);

c_v - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении Дж / (кг* К).

При сжатии температура воздуха значительно возрастает и может быть определена по формуле

$$T_2 = T_1 \frac{p_2^{\frac{m-1}{m}}}{p_1^{\frac{m-1}{m}}}, \quad (5.5)$$

где T_1 - абсолютная температура воздуха до сжатия, К;

p_1, p_2 - абсолютное давление газа до и после сжатия, Па.

Например, если начальная температура воздуха 20 °С и давление равно атмосферному, при его сжатии до 1 МПа температура возрастает до 300 °С, а при давлении 5 МПа - до 503 °С.

5.4 Меры безопасности при эксплуатации компрессоров и холодильных установок

Для предупреждения взрывов компрессоров и холодильных установок, а также входящих в их систему аппаратуры (сосудов под давлением) и трубопроводов, обеспечения безопасности при их эксплуатации должны соблюдаться требования ГОСТ 12.2.016-81 и ГОСТ 12.2.003-74, а также специальные требования, которые можно разделить на организационные, предупреждающие превышение давления, перегрев установок, взрывы паров масла, продуктов их разложения, а также хладагентов.

Организационные требования направлены на обеспечение безопасной эксплуатации, нормального технического состояния и обслуживания компрессоров и холодильных установок.

Размещение компрессоров и холодильных установок должно соответствовать требованиям СНиП, противопожарных норм строительного проектирования промышленных предприятий и санитарным нормам их проектирования, а также специальным требованиям правил техники безопасности аммиачных холодильных установок. Компрессоры, как правило, должны размещаться в отдельно стоящих одноэтажных зданиях.

При производительности компрессоров до 20 м³/мин они могут отделяться от смежных помещений перегородками высотой не менее 3 м и толщиной не менее 12,5 см. Отдельные компрессоры производительностью до 10 м³/мин с давлением воздуха $\geq 0,8$ МПа могут при условии их отделения от производственных участков глухими огнестойкими стенами и с разрешения технической инспекции труда устанавливаться в нижних этажах многоэтажных производственных зданий.

В компрессорных помещениях полы должны быть выполнены из огнестойкого маслоустойчивого и нескользящего материала. Покрытия помещений компрессорных зданий должны быть бесчердачными и легкобрасываемыми. Площадь окон, дверей, фонарей и легкобрасываемых панелей должна составлять не менее 0,05 м² на 1 м³ объема помещения.

Категорически запрещено соединять несколько параллельных отводов воды от разных ступеней компрессора или нескольких компрессоров в единый коллектор с общим сливом в воронку, так как при этом может остаться незамеченным отсутствие воды в одном из объектов охлаждения.

5.5 Причины аварий стационарных сосудов, работающих под давлением, меры безопасности

На сахарных, кондитерских, пивобезалкогольных и иных пищевых предприятиях для технологических, энергетических и иных целей обширно используются работающие под давлением стационарные сосуды различного назначения (автокла-

вы, выпарные аппараты и агрегаты, сепараторы, бродильные аппараты, карбонизаторы, ресиверы и т. п.).

Ведущими основаниями аварий данных сосудов считаются недостатки изготовления, коррозионное разрушение и иные виды повреждений, нарушения технологического режима и правил эксплуатации, поломке арматуры и устройств. Разрушение стационарных сосудов большей частью происходят по причине недостатков приготовления, в итоге провала болтов и крышек люков, разрыва и выпучивания днищ, а еще коррозии и иных обликков разрушений.

С целью предупреждения аварий критерии прибора и эксплуатации сосудов, работающих под давлением, настоятельно просят, чтобы материалы, предназначенные для их приготовления и починки, имели сертификаты, подтверждающие их соотношение предназначению и особым техническим условиям.

Система сосудов обязана быть надежной, гарантировать безопасность при эксплуатации, вероятность их внутреннего осмотра, чистки и починки.

Сварные швы обязаны быть лишь только стыковыми и простыми для контроля при приготовлении, монтаже и эксплуатации сосуда.

Для предупреждения разрушений по причине нарушений технологического режима и правил эксплуатации, не считая допуска к обслуживанию нарочно, обученного, персонала и повторяющейся испытания их познании, стационарные сосуды в зависимости от их системы и предназначения в обязательном порядке снабжаются, надлежащими контрольно-измерительными устройствами, предохранительными приборами, способами автоматике, запорной и иной арматурой.

Поломка устройств контроля и автоматике, запорной и иной арматуры выявляется при проведении их наружных осмотров и контроле в регламентированные сроки.

При данном, не считая обозначенных выше устройств, еще контролируются положение и функциональность запорных органов, трехходовых кранов, приборов для выпуска воздуха при заполнении сосудов средой, спуска воды и иной арматуры.

5.6 Причины взрывов баллонов и обеспечение безопасности при их эксплуатации, транспортировании и хранении

На пищевых предприятиях применяются разнообразные баллоны, предназначенные для хранения, перевозки и использования сжатых (азот, воздух, кислород, сероводород), сжиженных (аммиак, сернистый ангидрид, диоксид углерода, фреон) и растворимых (ацетилен) газов под давлением 0,6-15 МПа. В связи с этим их взрывы представляют опасность независимо от того, содержат баллоны горючий или негорючий газ.

Причины взрывов можно разделить на общие для всех баллонов, а также на специфические для отдельных из них. К общим относятся: удары или падения баллона, особенно при высоких или низких температурах, так как в первом случае резко возрастает давление в баллоне за счет нагревания содержащегося в нем газа, а во втором - материал, из которого сделан баллон, приобретает свойство хрупкости; переполнение баллона сжиженным газом без оставления свободного нормированного объема около 10 % всего объема баллона; нагрев баллона солнечными лучами или другими источниками, что приводит к увеличению давления в нем выше допустимых значений. В частности, при повышении температуры с Ш до 50°C заполненного полностью баллона с аммиаком давление в нем возрастает с 0,6 до 62 МПа, что приводит к разрыву, так как для аммиачных баллонов допустимое давление 10 МПа; ошибочное использование баллона, например, наполнение кислородного баллона метаном; быстрое наполнение баллона, сопровождающееся резким нагревом газа и, как следствие, увеличение давления, которое при температуре 45°C не должно превышать рабочее более чем на 10 %.

Специфические причины, присущие кислородным баллонам: попадание масла на внутренние области вентиля, применение необезжиренных прокладок, а также замасливание поверхности баллона, так как в результате окисления масла может произойти его воспламенение и взрыв; наличие ржавчины или окалины в баллоне, при движении которых могут возникнуть искры и накапливаться статическое

электричество с последующим новообразованием, могущим вызвать взрыв кислорода в баллоне; быстрый отбор газа из баллона, что может вызвать искрообразование в струе кислорода; присущие ацетиленовым баллонам: низкое качество или осадок пористой массы (древесный активированный уголь); недостаток ацетона в баллоне; применение оборудования (редукционных клапанов, трубопроводов), содержащих более 70 % меди, при контакте с которой ацетон вступает в химическую реакцию с большим выделением теплоты; быстрый отбор газа из баллона, что может вызвать вынос ацетона, который при расходе ацетилена 1,7 м³/ч и более не должен превышать допустимый, равный 20 г/м³ газа.

Для предупреждения неправильного использования баллонов, предназначенных для разных газов, вентили имеют разную резьбу (для кислорода и инертных газов - правую, горючих - левую, а для ацетона - хомут), что исключает присоединение к ним редукционных клапанов. Кроме того, баллоны маркируются, т.е. окрашиваются в разный цвет, снабжаются соответствующими надписями и полосами.

Таблица 5.1 – Маркировка баллонов, содержащих газы

| Газ | Окраска баллона | Технич. надписи | Цвет надписи | Цвет полосы |
|----------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|
| Азот | Черная | Азот | Желтый | Коричневый |
| Аммиак | Желтая | Аммиак | Черный | - |
| Ацетилен | Белая | Ацетилен | Красный | - |
| Воздух | Черная | Сжатый воздух | Белый | - |
| Кислород | Голубая | Кислород | Черный | - |

5.7 Примеры решения задач

Задача 1

Определить предельно допустимое термическое напряжение стального трубопровода котельной макаронной фабрики, если его начальная температура $t_1 = 20^\circ\text{C}$; температура проходящих по трубе газов $t_2 = 420^\circ\text{C}$; коэффициент линейного расширения трубы $\alpha = 1,2 \text{ мм/м}$ на каждые 100°C ; длина трубы L , м; модуль упругости для стали $E=12 \cdot 10^{10} \text{ Пф}$.

Решение:

Определяем тепловое удлинение трубопровода по формуле

$$\Delta L = \alpha L (t_2 - t_1) , \quad (5.6)$$

где ΔL - тепловое удлинение трубопровода, см;
 α коэффициент линейного расширения трубы;
 t_1 - начальная температура трубопровода, $^\circ\text{C}$;
 t_2 - температура проходящих по трубе газов, $^\circ\text{C}$;
 L - длина трубы, м.

$$\Delta L = 1,2 \cdot 8 \frac{420 - 20}{100} = 38,4 \text{ мм} = 3,84 \text{ см}.$$

Определяем предельно допустимое термическое напряжение трубопровода по формуле

$$\sigma_t = E \frac{\Delta L 10^{-3}}{L} , \quad (5.7)$$

где E - модуль упругости для стали, Пф.

$$\sigma_t = 12 \cdot 10^{10} \frac{3,84 \cdot 10^{-3}}{8} = 576 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

При таком напряжении трубопровод может согнуться и необходимо предусмотреть компенсатор температурного расширения.

Задача 2

На кондитерской фабрике, одноступенчатый компрессор подает воздух, используемый для подачи сухого молока, в магистраль с давлением $p_2=0,5$ МПа, давление воздуха до сжатия $p_1=0,1$ МПа, начальная температура сжимаемого воздуха $t_1=15^\circ \text{ C}$, показатель адиабаты $\kappa=1,4$. Определить конечную температуру воздуха, если сжатие происходит без охлаждения, установить степень опасности взрыва паров компрессорного масла, если температура вспышки паров данного масла $T_{\text{всп}}=453 \text{ K}$.

Решение:

Определяем конечную температуру сжатия воздуха согласно формуле

$$T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}, \quad (5.8)$$

где T_2 - конечную температуру сжимаемого воздуха, К;
 T_1 - начальная температура сжимаемого воздуха, К;
 p_2 – давление подаваемого воздуха в магистраль, МПа;
 p_1 – давление воздуха до сжатия, МПа;
 κ - показатель адиабаты.

$$T_2 = 273 + 15 \frac{0,5}{0,1}^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 468 \text{ К}$$

Результат расчета показывает, что в данном случае возникает угроза взрыва паров компрессного масла, так как температура воздуха, сжатого без охлаждения ($T_2=468^\circ\text{К}$), на 15° превышает температуру вспышки компрессорные масла ($T_{\text{всп}}=453^\circ\text{К}$).

Следует указать, что для получения сжатого воздуха с давлением больше 0,5 МПа необходимо применять многоступенчатые компрессоры охлаждением воздуха между ступенями.

Задача 3

Определить, какую часть сосуда с пищевыми газовыми смесями, используемого в кондитерской фабрике для сохранности качественных показателей упаковываемого продукта, составляет паровая подушка, если начальная температура (температура наполнения) $t_n = -15^\circ\text{С}$; конечная температура в результате нагрева баллона равна $t_k = 60^\circ\text{С}$ коэффициент теплового объемного расширения $\alpha = 0,002$.

Решение:

Объем паровой подушки определяется из формулы

$$V_{\text{п}} = \alpha V t_k - t_n , \quad (5.9)$$

где $V_{\text{п}}$ - объем паровой подушки, м^3 ;

α - коэффициент теплового объемного расширения;

V - объем сосуда, м^3 ;

t_k - конечная температура в результате нагрева баллона, $^\circ\text{С}$;

t_n - начальная температура (температура наполнения), $^\circ\text{С}$.

Если в этой формуле положить объем сосуда $V=1$, то получим, какую часть от V составляет объем паровой подушки $V_{\text{п}}$:

$$V_{\text{п}} = 0,002 \cdot 1 [60 - (-15)] = 0,002 \cdot 1 \cdot 75 = 0,15 \text{ м}^3$$

Таким образом 15% объема сосуда должно оставаться не заполненным сжиженным газом.

Задача 4

Редуктор прямого действия (проходящий через редуктор газ стремится открыть редукционный клапан) установлен на кислородном баллоне, (используемом на ликероводочном заводе, для очистки бутылок перед заполнением), и отрегулирован на давление p МПа. За время работы давления в баллоне снижается с $p_1=15$ до $p_2=25$ МПа. Усилие нажимной пружины $Q_1=1000$ Н, усилие возвратной (запорной) пружины $Q_2 =100$ Н. Усилие пружин считать постоянным.

Установить, потребуется ли дополнительная регулировка редуктора, если явление кислорода, подаваемое в горелку, менее 0,4 МПа недопустимо из-за возможности обратного удара.

Решение:

Уравнение равновесия давления для редукторов прямого действия имеет следующий вид:

$$p_1 f_1 + Q_1 = p_2 f_2 + Q_2, \quad (5.10)$$

где p_1 – давление газа в баллоне, Мпа;

f_1 – площадь сечения клапана, см^2 ;

Q_1 – усилие создаваемое главной (нажимной) пружиной, Н;

p_2 – рабочее давление газа в сети, МПа ;

f_2 – рабочая площадь мембраны, см^2 ;

Q_2 – усилие, создаваемое возвратной (запорной) пружиной, Н.

Подставляя в уравнение значения параметров, получим:

$$2,5 \cdot 10^2 \cdot 0,4 + 1000 = 30 \cdot 10^2 + 100,$$

откуда

$$p_2 = \frac{2,5 \cdot 10^2 \cdot 0,4 + 1000 - 100}{30 \cdot 10^2} = 0,33 \text{ МПа}$$

Следовательно, в конце работы, когда давление газа в баллоне снизится до 2,5 МПа, рабочее давление в магистрали и горелке упадет до 0,33 МПа, что нежелательно. Поэтому нужна дополнительная регулировка редуктора. Остаточное давление, при котором должна быть осуществлена дополнительная регулировка, определяется из того же уровня равновесия при $p_2=0,4$ Мпа:

$$10^2 \cdot 0,4 + 1000 = 0,4 \cdot 10^2 \cdot 30 + 100,$$

откуда

$$p_1 = \frac{0,4 \cdot 10^2 \cdot 30 + 100 - 100}{0,4 \cdot 10^2} = 7,5 \text{ МПа}$$

Задача 5

Редуктор обратного действия кислородного баллона, подающего кислород бактериям во время ферментации для производства йогурта на молочной фабрике, (проходящий через редуктор газ стремится закрыть редукционный клапан) отрегулирован на давление $p=0,5$ МПа. В процессе работы давление в баллоне снижается с $p_1 = 15$ до $p_1 = 2,5$ МПа. Усилие главной (нажимной) пружины $Q_1=2000$ Н, усилие возвратной пружины $Q_2 = 100$ Н.

Решение:

Уравнение равновесия газа для редукторов обратного действия имеет следующий вид:

$$Q_1 = p_1 f_1 + p_2 f_2 + Q_2, \quad (5.11)$$

где Q_1 – усилие создаваемое главной (нажимной) пружиной, Н;

p_1 – давление газа в баллоне, МПа;

f_1 – площадь сечения клапана, см²;

p_2 – рабочее давление газа в сети, МПа;

f_2 – рабочая площадь мембраны, см²;

Q_2 – усилие, создаваемое возвратной (запорной) пружиной, Н.

Уравнение равновесия давлений в редукторе при давлении газа в баллоне 2,5 Мпа:

$$2000 = 2,5 \cdot 10^2 \cdot 0,4 + p_2 \cdot 10^2 + 100,$$

откуда

$$p_2 = \frac{2000 - 2,5 \cdot 10^2 \cdot 0,4 - 100}{30 \cdot 10^2} \approx 0,6 \text{ МПа.}$$

Небольшое повышение рабочего давления при снижении давления газа в баллоне не оказывает существенного влияния на процесс сварки или резки металла. Понижение давления даже в небольших пределах, которое имеет место при применении редукторов прямого действия, резко снижает производительность труда сварщиков и ухудшает условия безопасности их работы. При обратном ударе в редукторах прямого действия взрывная волна стремится открыть редукционный клапан, в редукторах обратного действия, наоборот, взрывная волна его захлопывает. Поэтому для обеспечения более безопасных условий и повышения производительности труда сварщиков целесообразно применять редукторы обратного действия.

5.8 Задание для самостоятельной работы

Задача 1

Определить предельно допустимое термическое напряжение стального трубопровода котельной макаронной фабрики, если его начальная температура $t_1, ^\circ\text{C}$; температура проходящих по трубе газов $t_2, ^\circ\text{C}$; коэффициент линейного расширения трубы α , мм/м на каждые 100°C ; длина трубы L , м; модуль упругости для стали E , Пф.

Таблица 5.2 - Исходные данные

| Вариант | $t_1, ^\circ\text{C}$ | $t_2, ^\circ\text{C}$ | α , мм/м | L , м | E , Пф | Материал |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------|--------------------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 21 | 430 | 1,2 | 8 | $12 \cdot 10^{10}$ | сталь |
| 2 | 23 | 420 | 0,9 | 11 | | |
| 3 | 19 | 435 | 1,3 | 9 | | |
| 4 | 22 | 415 | 1,0 | 12 | | |
| 5 | 24 | 425 | 1,1 | 6 | | |
| 6 | 18 | 420 | 1,4 | 7 | | |
| 7 | 20 | 435 | 0,9 | 10 | | |
| 8 | 23 | 425 | 1,2 | 8 | | |
| 9 | 21 | 415 | 1,1 | 11 | | |
| 10 | 22 | 420 | 1,3 | 9 | | |
| 11 | 19 | 435 | 1,0 | 12 | | |
| 12 | 24 | 420 | 1,4 | 6 | | |
| 13 | 18 | 430 | 0,9 | 10 | | |

Продолжение таблицы 5.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|----|-----|-----|----|---------------------|-------|
| 14 | 20 | 415 | 1,3 | 7 | 12*10 ¹⁰ | сталь |
| 15 | 23 | 435 | 1,0 | 11 | | |
| 16 | 21 | 425 | 1,1 | 8 | | |
| 17 | 19 | 415 | 1,4 | 12 | | |
| 18 | 24 | 420 | 0,9 | 9 | | |
| 19 | 18 | 435 | 1,2 | 6 | | |
| 20 | 20 | 415 | 1,1 | 10 | | |
| 21 | 23 | 425 | 1,3 | 7 | | |
| 22 | 19 | 420 | 1,0 | 11 | | |
| 23 | 21 | 435 | 1,4 | 9 | | |
| 24 | 18 | 415 | 0,9 | 12 | | |
| 25 | 20 | 420 | 1,2 | 8 | | |
| 26 | 22 | 430 | 1,1 | 10 | | |
| 27 | 19 | 425 | 1,3 | 6 | | |
| 28 | 23 | 415 | 1,0 | 9 | | |
| 29 | 18 | 435 | 1,4 | 12 | | |
| 30 | 21 | 420 | 0,9 | 7 | | |

Задача 2

На молочной фабрике, одноступенчатый компрессор подает воздух, используемый для подачи сухого молока, в магистраль с давлением p_2 , МПа, давление воздуха до сжатия p_1 , МПа, начальная температура сжимаемого воздуха t_1 , °С, показатель адиабаты k . Определить конечную температуру воздуха, если сжатие происходит без охлаждения, установить степень опасности взрыва паров компрессорного масла, если температура вспышки паров данного масла $T_{всп}$, К.

Таблица 5.3 - Исходные данные

| Вариант | p_1 , МПа | p_2 , МПа | t_1 , °С | k | $T_{всп}$, °К |
|---------|-------------|-------------|------------|-----|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,4 | 0,8 | 14 | 1,4 | 460 |
| 2 | 0,1 | 0,6 | 15 | 1,2 | 444 |
| 3 | 0,3 | 1,0 | 13 | 1,6 | 459 |
| 4 | 0,5 | 0,7 | 17 | 1,1 | 445 |
| 5 | 0,2 | 0,9 | 12 | 1,3 | 454 |
| 6 | 0,4 | 0,5 | 16 | 1,5 | 457 |
| 7 | 0,1 | 0,8 | 15 | 1,4 | 461 |
| 8 | 0,3 | 1,0 | 17 | 1,1 | 443 |
| 9 | 0,5 | 0,6 | 14 | 1,2 | 449 |
| 10 | 0,1 | 0,9 | 12 | 1,3 | 459 |
| 11 | 0,4 | 0,7 | 18 | 1,6 | 456 |
| 12 | 0,2 | 0,5 | 16 | 1,1 | 447 |
| 13 | 0,1 | 0,5 | 14 | 1,4 | 448 |
| 14 | 0,3 | 0,8 | 15 | 1,2 | 458 |

Продолжение таблицы 5.3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-----|-----|----|-----|-----|
| 15 | 0,5 | 0,6 | 13 | 1,6 | 443 |
| 16 | 0,2 | 1,0 | 17 | 1,1 | 449 |
| 17 | 0,4 | 0,7 | 12 | 1,3 | 455 |
| 18 | 0,1 | 0,9 | 16 | 1,5 | 442 |
| 19 | 0,3 | 0,5 | 15 | 1,4 | 460 |
| 20 | 0,5 | 0,8 | 17 | 1,1 | 454 |
| 21 | 0,1 | 1,0 | 14 | 1,2 | 447 |
| 22 | 0,4 | 0,6 | 12 | 1,3 | 459 |
| 23 | 0,2 | 0,9 | 18 | 1,6 | 461 |
| 24 | 0,3 | 0,7 | 13 | 1,1 | 444 |
| 25 | 0,1 | 0,5 | 15 | 1,4 | 453 |
| 26 | 0,5 | 0,8 | 17 | 1,2 | 449 |
| 27 | 0,2 | 0,6 | 14 | 1,5 | 450 |
| 28 | 0,4 | 1,0 | 16 | 1,3 | 448 |
| 29 | 0,1 | 0,9 | 13 | 1,1 | 446 |
| 30 | 0,3 | 0,7 | 15 | 1,6 | 457 |

Задача 3

Определить, какую часть сосуда с пищевыми газовыми смесями, используемого в кондитерской фабрике для сохранности качественных показателей упаковываемого продукта, составляет паровая подушка, если начальная температура (температура наполнения) $t_n, ^\circ\text{C}$; конечная температура в результате нагрева баллона равна $t_k, ^\circ\text{C}$ коэффициент теплового объемного расширения α .

Таблица 5.4 - Исходные данные

| Вариант | $t_H, ^\circ\text{C}$ | $t_K, ^\circ\text{C}$ | a | $V, \text{м}^3$ |
|---------|-----------------------|-----------------------|-------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | -14 | 55 | 0,002 | 3 |
| 2 | -15 | 65 | 0,001 | 1 |
| 3 | -13 | 60 | 0,003 | 5 |
| 4 | -17 | 59 | 0,004 | 4 |
| 5 | -12 | 57 | 0,002 | 2 |
| 6 | -16 | 61 | 0,003 | 1 |
| 7 | -15 | 63 | 0,001 | 3 |
| 8 | -17 | 58 | 0,004 | 5 |
| 9 | -14 | 65 | 0,002 | 2 |
| 10 | -12 | 55 | 0,001 | 4 |
| 11 | -18 | 62 | 0,003 | 1 |
| 12 | -16 | 57 | 0,004 | 5 |
| 13 | -14 | 61 | 0,002 | 2 |
| 14 | -15 | 59 | 0,003 | 3 |
| 15 | -13 | 64 | 0,001 | 5 |
| 16 | -17 | 55 | 0,004 | 1 |
| 17 | -12 | 60 | 0,002 | 4 |
| 18 | -16 | 56 | 0,003 | 2 |
| 19 | -15 | 61 | 0,001 | 5 |
| 20 | -17 | 57 | 0,002 | 3 |
| 21 | -14 | 62 | 0,004 | 1 |

Продолжение таблицы 5.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-----|----|-------|---|
| 22 | -12 | 59 | 0,003 | 4 |
| 23 | -18 | 55 | 0,001 | 2 |
| 24 | -13 | 65 | 0,004 | 5 |
| 25 | -15 | 60 | 0,002 | 1 |
| 26 | -12 | 58 | 0,003 | 3 |
| 27 | -14 | 62 | 0,001 | 4 |
| 28 | -16 | 55 | 0,004 | 2 |
| 29 | -13 | 57 | 0,002 | 1 |
| 30 | -17 | 61 | 0,003 | 5 |

Задача 4

Редуктор прямого действия (проходящий через редуктор газ стремится открыть редукционный клапан) установлен на кислородном баллоне, (используемом на ликеро-водочном заводе, для очистки бутылок перед заполнением), использующийся для регулировки концентрации кислорода на складе макаронной фабрики, и отрегулирован на давление p МПа. За время работы давления в баллоне снижается с p_1 до p_2 МПа. Усилие нажимной пружины Q_1 Н, усилие возвратной (запорной) пружины Q_2 Н. Усилие пружин считать постоянным.

Таблица 5.5 - Исходные данные

| Вариант | p , МПа | p_1 , МПа | p_2 , МПа | Q_1 , Н | Q_2 , Н |
|---------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,5 | 15 | 25 | 1000 | 100 |
| 2 | 0,7 | 13 | 22 | | |
| 3 | 0,3 | 16 | 26 | | |
| 4 | 0,6 | 11 | 23 | | |
| 5 | 0,8 | 12 | 24 | | |
| 6 | 0,2 | 13 | 27 | | |
| 7 | 0,4 | 16 | 22 | | |
| 8 | 0,7 | 12 | 25 | | |
| 9 | 0,5 | 11 | 24 | | |
| 10 | 0,6 | 13 | 26 | | |
| 11 | 0,3 | 16 | 23 | | |
| 12 | 0,8 | 13 | 27 | | |
| 13 | 0,2 | 15 | 22 | | |
| 14 | 0,4 | 11 | 26 | | |
| 15 | 0,7 | 16 | 23 | | |
| 16 | 0,5 | 12 | 24 | | |
| 17 | 0,3 | 11 | 27 | | |
| 18 | 0,8 | 13 | 22 | | |
| 19 | 0,2 | 16 | 25 | | |
| 20 | 0,4 | 11 | 23 | | |
| 21 | 0,7 | 12 | 26 | | |

Продолжение таблицы 5.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-----|----|----|---|---|
| 22 | 0,3 | 13 | 23 | | |
| 23 | 0,5 | 16 | 27 | | |
| 24 | 0,2 | 11 | 22 | | |
| 25 | 0,4 | 13 | 25 | | |
| 26 | 0,8 | 14 | 23 | | |
| 27 | 0,5 | 12 | 24 | | |
| 28 | 0,3 | 15 | 27 | | |
| 29 | 0,7 | 11 | 22 | | |
| 30 | 0,6 | 14 | 25 | | |

Задача 5

Редуктор обратного действия кислородного баллона, подающего кислород бактериям во время ферментации для производства йогурта на молочной фабрике, (проходящий через редуктор газ стремится закрыть редукционный клапан) отрегулирована давлением p МПа. В процессе работы давление в баллоне снижается с p_1 до p_2 МПа. Усилие главной (нажимной) пружины Q_1 , Н, усилие запорной пружины Q_2 , Н.

Таблица 5.6 - Исходные данные

| Вариант | p , МПа | p_1 , МПа | p_2 , МПа | Q_1 , Н | Q_2 , Н |
|---------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,5 | 15 | 25 | 2000 | 100 |
| 2 | 0,7 | 13 | 22 | | |
| 3 | 0,3 | 16 | 26 | | |
| 4 | 0,6 | 11 | 23 | | |
| 5 | 0,8 | 12 | 24 | | |
| 6 | 0,2 | 13 | 27 | | |
| 7 | 0,4 | 16 | 22 | | |
| 8 | 0,7 | 12 | 25 | | |
| 9 | 0,5 | 11 | 24 | | |
| 10 | 0,6 | 13 | 26 | | |
| 11 | 0,3 | 16 | 23 | | |
| 12 | 0,8 | 13 | 27 | | |
| 13 | 0,2 | 15 | 22 | | |
| 14 | 0,4 | 11 | 26 | | |
| 15 | 0,7 | 16 | 23 | | |
| 16 | 0,5 | 12 | 24 | | |
| 17 | 0,3 | 11 | 27 | | |
| 18 | 0,8 | 13 | 22 | | |
| 19 | 0,2 | 16 | 25 | | |
| 20 | 0,4 | 11 | 23 | | |

Продолжение таблицы 5.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-----|----|----|------|-----|
| 21 | 0,7 | 12 | 26 | 2000 | 100 |
| 22 | 0,3 | 13 | 23 | | |
| 23 | 0,5 | 16 | 27 | | |
| 24 | 0,2 | 11 | 22 | | |
| 25 | 0,4 | 13 | 25 | | |
| 26 | 0,2 | 15 | 23 | | |
| 27 | 0,7 | 12 | 27 | | |
| 28 | 0,5 | 14 | 24 | | |
| 29 | 0,3 | 16 | 22 | | |
| 30 | 0,6 | 13 | 25 | | |

6 Практическое занятие №6

Мероприятия электробезопасности

6.1 Защитное заземление

Одна из причин электротравм в цехах пищевых предприятий – нарушение изоляции, и появление напряжения на частях оборудования, нормально не находящихся под напряжением. Прикосновение человека к таким частям электрооборудования становится опасным. Для снижения опасности прикосновения создается защитное заземление - соединение металлических и токоведущих частей оборудования с землей.

Основным элементом защитного заземления является заземляющее устройство.

Зачастую используются естественные заземлители: металлические коммуникации (за исключением трубопроводов для горючих и взрывчатых веществ), металлические конструкции зданий, соединенных с землей, железобетонные фундаментные элементы опор воздушных линий электропередач.

В качестве искусственных заземлителей используются:

- стальные трубы длиной от 1,5 до 4 м, диаметром от 25 до 50мм, которые забивают в землю;
- металлические стержни и полосы.

Для достижения требуемого сопротивления заземлителя используются несколько труб (стержней), забитых в землю и соединённых там металлической (стальной) полосой. На электроустановках напряжением до 1000В одиночные заземлители соединяют стальной полосой толщиной не менее 4 мм и сечением не менее 48 мм². Для уменьшения экранирования рекомендуется одиночные заземлители располагать на расстоянии не менее 2,5 - 3м один от другого.

Устройство искусственных заземлителей изображено на рисунке 6.1.

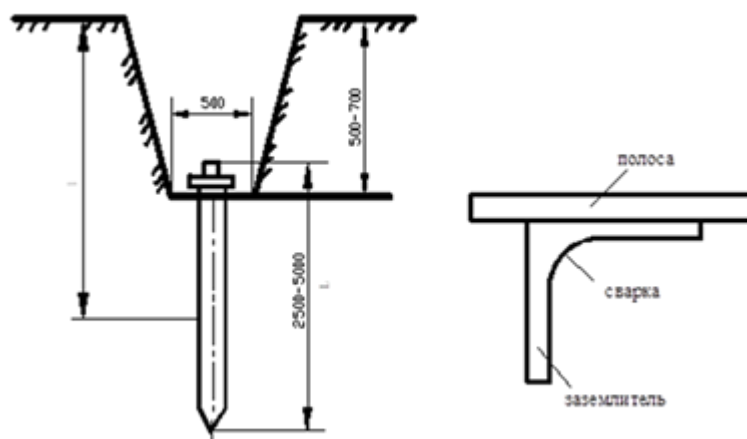


Рисунок 6.1 – Устройство искусственных заземлителей

Для расчета заземляющего устройства необходимы следующие данные:

- сопротивление заземляющего устройства (R_3), требуемого по правилам устройства электроустановок;
- удельное сопротивление грунта (ρ);
- длина, диаметр и глубина расположения в грунте искусственных заземлителей;
- повышающий коэффициент (K_c).

Защитное сопротивление R_3 должно быть не более 4 Ом. Для мощности источников электроэнергии до 100 кВА $R_3 < 10$ Ом, а при токах замыкания на землю более 500 А, $R_3 < 0,5$ Ом.

6.2 Методика расчета сопротивления защитного заземления

Защитное контурное заземление изображено на рисунке 6.2. Для расчета защитного заземления необходимо знать напряжение оборудования, климатическую зону, где расположен объект. В качестве заземлителей обычно используют стальные трубы.

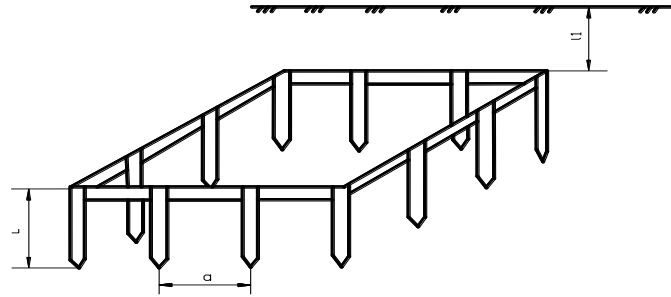


Рисунок 6.2 – Размещение заземлителей при контурном заземлении

Принимается глубина заложения полосы в грунт $H_0 - 0,7$ м.

По нормам допускаяемое сопротивление заземляющего устройства $R_3 < 4$ Ом.

Из таблицы Б.1 приложения Б выбирается повышающий коэффициент для климатической зоны и длине заземлителей от 2 до 3 м.

Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента сезонности.

$$\rho_{расч} = \rho \cdot K_c \quad (6.1)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м, принимается равным 40 Ом·м;

K_c – климатический коэффициент сезонности (приложение Б таблица Б.1).

Сопротивление растеканию тока, через одиночный заземлитель рассчитывается по формуле

$$R_{мп} = 0,9 (\rho / l_{мп}), \quad (6.2)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта,

$l_{мп}$ – длина трубы.

Определяется примерное число заземлителей без учёта коэффициента экранирования по формуле

$$n = R_{mp} / r, \quad (6.3)$$

где r – допустимое сопротивление заземляющего устройства, 4 Ом.

Сопротивление растеканию тока одного заземлителя зависит от удельного сопротивления грунта, глубины забивки и размеров самого заземлителя (трубы).

Для одиночного вертикального стержневого заземлителя определяется при помощи номограммы или по формуле

$$R_{ст.од} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{l}{2} + \ln \frac{4 \cdot H + l}{4 \cdot H - l} \right) \quad (6.4)$$

где $\rho_{расч}$ – удельное сопротивление грунта, Ом · м

l – длина заземлителя, м;

d – эквивалентный диаметр стержней, м;

H – глубина забивки, считая от поверхности земли до середины заземлителя,

м.

$H = H_0 + l/2$ – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя;

H_0 – глубина заложения заземляющего устройства, м.

Затем определяется ориентировочное число вертикальных заземлителей без учета коэффициента экранирования или коэффициента использования вертикальных стержней:

$$n = \frac{R_{ст.одн}}{R_3} \quad (6.5)$$

где $R_{ст.одн}$ – сопротивление растеканию тока одного заземлителя,

$R_3 = 4 \text{ Ом}$ – в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) на электрических установках напряжением до 1000В допустимое сопротивление заземляющего устройства равно не более 4 Ом.

Установив характер расположения заземлителей (контуром), определяется число стержневых заземлителей по формуле

$$n = \frac{R_{ст.одн}}{R_{и} \cdot \eta_{ст}} \quad (6.6)$$

где $R_{и}$ – сопротивление искусственных заземлителей, Ом;

Поскольку естественные заземлители в расчете не учитываются, то $R_{и}=R_3$;

$\eta_{ст}$ – коэффициент использования стержневых заземлителей, зависящий от количества стержней и расстояния между ними (таблица Д.1 приложения Д).

Определяется длина соединительной полосы:

$$l_{п} = 1,05 \cdot n \cdot a, \quad (6.7)$$

где a – расстояние между стержнями ($a=5\text{м}$);

n – число стержней.

Определяется сопротивление растеканию тока соединительной полосы. Для полосы сечением 48-50 мм² это сопротивление можно определить по упрощенной формуле

$$R_{п} = \frac{\rho_{расч}}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dH} \quad (6.8)$$

где l – длина соединительной полосы, м.

d – диаметр трубы, м;

H – глубина заложения заземляющего устройства, м.

Резльтирующее сопротивление растеканию электрического тока всего заземляющего устройства рассчитывается по формуле

$$R_{CT} = \frac{R_{CT.одн} \cdot R_{П}}{R_{CT.одн} \cdot \eta_{П} + R_{П} \cdot n \cdot \eta_{CT}} \quad (6.9)$$

где $\eta_{П}$ - коэффициент использования соединительной полосы (приложение Д таблица Д.2).

Полученное значение не должно превышать допустимое $R_3 = 4$ Ом. Если результаты расчета превышают допустимое сопротивление, то изменяется количество заземлителей и расчет производится заново.

В настоящее время существуют следующие средства защиты от повышенного значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека:

- оградительные устройства;
- индивидуальные средства защиты (резиновые перчатки, диэлектрические коврики);
- устройства автоматического контроля и сигнализации;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства автоматического отключения;
- устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства;
- молниеотводы и разрядники;
- знаки безопасности.

6.3 Пример решения задачи

Задача. Определить результирующее сопротивление растеканию электрического тока при нарушении изоляции макаронного пресса на макаронной фабрике Волгоградской области, если диаметр вертикальных стальных заземлителей $d = 0,045$ м, длина $l = 2,5$ м.

Решение:

Для определения расчетного сопротивления заземления электрооборудования пищевых предприятий определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента:

$$\rho_{расч} = 40 \cdot 1,75 = 70 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

Сопротивление растеканию тока одного заземлителя:

$$R_{ст.од} = \frac{70}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,045} + \frac{2,5}{2} + \ln \frac{4 \cdot 0,35 + 2,5}{4 \cdot 0,35 - 2,5} \right) = 20,95 \text{ Ом.}$$

Затем определяется ориентировочное число вертикальных заземлителей без учета коэффициента экранирования или коэффициента использования вертикальных стержней:

$$n = \frac{21}{4} = 4$$

Число стержневых заземлителей:

$$n = \frac{20,9}{4 \cdot 0,7} = 7,4 \approx 8$$

Определяют длину соединительной полосы:

$$l_{п} = 1,05 \cdot 4 \cdot 5 = 21 \text{ м}$$

Определяют сопротивление растеканию тока соединительной полосы:

$$R_{II} = \frac{70}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \ln \frac{2.5^2}{0.045 \cdot 0.7} = 23,1 \text{ Ом.}$$

Результирующее сопротивление растеканию электрического тока всего заземляющего устройства составит:

$$R_{CT} = \frac{20.95 \cdot 23.1}{20.95 \cdot 0,4 + 23.1 \cdot 12 \cdot 0.7} = 2,39 \text{ Ом.}$$

Для заземления электрооборудования цеха используется следующее заземляющее устройство: 8 заземляющих стержней диаметром 0,045 м и длиной 2,5 м, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга, расположенных вертикально по контуру. Глубина заложения полосы в грунт 0,7 м.

6.4 Задание для самостоятельной работы

Определить результирующее сопротивление растеканию электрического тока при нарушении изоляции промышленной электромясорубки в колбасном цехе Уфимского мясокомбината, где d – диаметр трубы (м), l – длина заземлителя (м).

Исходные данные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Варианты заданий

| Вариант | Исходные данные | |
|---------|-------------------------------|---------------------------|
| | Длина заземлителя, l (м) | Диаметр трубы, d (м) |
| № | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | 2,5 | 0,025 |

Продолжение таблицы 6.1

| 1 | 2 | 3 |
|----|-----|-------|
| 2 | 2,6 | 0,03 |
| 3 | 2,7 | 0,035 |
| 4 | 2,8 | 0,04 |
| 5 | 2,9 | 0,045 |
| 6 | 3 | 0,05 |
| 7 | 2,5 | 0,05 |
| 8 | 2,6 | 0,045 |
| 9 | 2,7 | 0,04 |
| 10 | 2,8 | 0,035 |
| 11 | 2,9 | 0,03 |
| 12 | 3 | 0,025 |
| 13 | 2,5 | 0,04 |
| 14 | 2,6 | 0,05 |
| 1 | 2 | 3 |
| 15 | 2,7 | 0,03 |
| 16 | 2,9 | 0,025 |
| 17 | 3 | 0,035 |
| 18 | 2,5 | 0,045 |
| 19 | 2,6 | 0,05 |
| 20 | 2,7 | 0,04 |
| 21 | 2,8 | 0,03 |
| 22 | 2,9 | 0,035 |

Продолжение таблицы 6.1

| 1 | 2 | 3 |
|----|-----|-------|
| 23 | 3 | 0,025 |
| 24 | 2,5 | 0,045 |
| 25 | 2,6 | 0,04 |
| 26 | 2,7 | 0,03 |
| 27 | 2,8 | 0,025 |
| 28 | 2,9 | 0,05 |
| 29 | 3 | 0,035 |
| 30 | 2,5 | 0,045 |

7 Практическое занятие №7

Обеспечение взрывобезопасности при хранении и транспортировке сырья на предприятиях пищевой промышленности

7.1 Основные сведения о горении и пожарной опасности сырья

Горением называется физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества и окислителя (обычно кислорода воздуха), сопровождающийся выделением тепла и излучением света. Иногда окислителем может быть азотная кислота, перманганат калия, хлор и другие вещества. Для возникновения горения необходимо одновременное наличие трех факторов: горючего вещества, воздуха и источника зажигания. Горючее вещество и воздух составляют горючую систему, а источник зажигания вызывает в ней реакцию горения. Горючее вещество - это вещество (материал, смесь, конструкция), способное гореть после удаления источника зажигания.

Горение подразделяют на несколько видов: вспышка, возгорание, воспламенение, самовозгорание и самовоспламенение. Вспышка - быстрое сгорание горючего вещества, не сопровождающееся образованием сжатых газов. Выделяющегося при вспышке тепла недостаточно для разогрева вещества, образования паров и газов, поэтому процесс локализуется.

Начальная стадия горения под воздействием источника зажигания называется возгоранием. Возгорание, сопровождающееся появлением пламени, называется воспламенением. Результатом возгорания является цепная реакция процесса горения.

Самовозгорание - это явление резкого увеличения скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению горения вещества в отсутствии источника зажигания. По природе возникновения самовозгорание бывает тепловым, микробиологическим и химическим. Причиной теплового самовозгорания является нагрев вещества до температуры, превышающей минимальную температуру, при

которой начинается его самонагревание (температуру самонагревания).

Микробиологическое самовозгорание возникает в результате самонагревания, происходящего под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов в массе вещества. Такие процессы могут возникнуть при хранении сырого, а также недосушенного, плохо охлажденного зерна, масла мсемян, сена, торфа и некоторых других растительных материалов. Для предупреждения микробиологического самовозгорания применяются технологические меры (сушка, правильное хранение материала, контроль за его температурой и влажностью).

Химическое самовозгорание происходит в результате химического взаимодействия веществ, в том числе действия на вещества воздуха и воды. К химическому самовозгоранию склонно большинство растительных масел и животных жиров при наличии большой поверхности окисления и при малой теплоотдаче в окружающую среду. Способность масла или жира к самовозгоранию может характеризоваться йодным числом (й. ч.): чем оно выше, тем больше эти вещества склонны к самовозгоранию. Так, у льняного масла й. ч. = 175-205, а температура самовоспламенения $A_{BC} = 343^{\circ}\text{C}$, а у конопляного й. ч. = 150-172 и $A_{BC} = 410^{\circ}\text{C}$. В этой связи определенную опасность представляет самовозгорание подсолнечного жмыха, а также промасленных тряпок, пакли, ветоши при их открытом беспорядочном хранении. Самовозгораются также белый фосфор и металлоорганические соединения на воздухе. Карбиды щелочных металлов взрываются при взаимодействии с водой и самовозгораются даже в атмосфере углекислого газа. Для предупреждения химического самовозгорания необходимо хорошо знать химические свойства хранимых или используемых веществ.

Самовоспламенением называется самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Не всякое горение является пожаром. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. Аналогичное горение, не причинившее материального ущерба, называется загоранием.

Взрывом называется чрезвычайно быстрое химическое (взрывчатое) превращение, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых

газов, способных производить механическую работу.

Пожарная опасность веществ и материалов зависит от их агрегатного состояния, физико-химических свойств, условий хранения и использования. Важнейшими показателями пожарной опасности веществ являются, температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения.

Температура вспышки - определяется в условиях специальных испытаний. Это самая низкая температура горючего вещества, при которой над поверхностью его образуются пары и газы, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

Температура воспламенения - это температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие газы и пары с такой скоростью, что после воспламенения их от источника зажигания возникает устойчивое горение.

Температура самовоспламенения самая низкая температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

В зависимости от величины нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ) все пожаро- и взрывоопасные пыли делятся на четыре класса, сгруппированные в группы А и Б. К группе А относятся взрывоопасные пыли с НКПВ до 65 г/м^3 (до 15 г/м^3 - I класс, остальные - II класс), к группе Б - пожароопасные пыли с НКПВ выше 65 г/м^3 (с температурой воспламенения пыли до 250°C - III класс, температурой воспламенения выше 250°C - IV класс).

Пожароопасные свойства некоторых пылей, паров некоторых воспламеняющихся и горючих жидкостей и газов приведены в таблицах 7.1, 7.2.

Верхние пределы воспламенения аэрозолей очень велики и практически почти никогда не достигаются. Так, верхний концентрационный предел воспламенения сахарной пыли $13\,500 \text{ г/м}^3$.

Таблица 7.1 - Пожароопасные свойства некоторых пылей

| Вещество | НКПВ, г/м ³ | Температура самовоспламенения, °С | Вещество | НКПВ, г/м ³ | Температура самовоспламенения, °С |
|---|------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| Группа А | | | | | |
| Класс I (наиболее взрывоопасные) | | | | | |
| Глюкоза кристаллическая | 15,0 | 250 | Пыль: комбикормовая сахарная шротовая | 10 8,9 7,6 | 525 525 |
| Корма маисовые | 12,6 | - | | | |
| Молоко сухое: цельное | 7,6 | 875 | | | |
| обезжиренное | 8,9 | 825 | | | |
| Мука: кровая мясокостная | 7,6 10,1 | - - | | | |
| Класс II (взрывоопасные) | | | | | |
| Жмых подсолнечный | 22,7 | 825 | Пыль: зерновых отходов мучная пшеничная серая угольная чайная | 25,5 17,6 40 32,8 | - 800 - - |
| Жом свекловичный | 27,7 | 750 | Пектин: свекловичный яблочный | 60 27,5 | - - |
| Какао порошок | 45,7 | 420 | Сечка пшеничная | 45,4 | - |
| Крахмал: картофельный кукурузный | 40,3 50,0 | - 625 | | | |
| Мука: пшеничная ячменная | 20,0 32,8 | 395 750 | | | |
| Отруби пшеничные | 22,7 | - | | | |
| Группа Б | | | | | |
| Класс III (наиболее пожароопасные) | | | Класс IV (пожароопасные) | | |
| Пыль: табачная элеваторная | 68 250 | 205 227 | Древесная пыль | Выше 65 | 275 |

Таблица 7.2 – Пожароопасные свойства паров некоторых воспламеняющихся и горючих жидкостей и газов

| Жидкость | Предел воспламенения | | | | Температура самовоспламенения, °С |
|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| | нижний | | верхний | | |
| | Температурный, °С | Концентрационный, об% | Температурный, °С | Концентрационный, об% | |
| аммиак | - | 15,5 | - | 27 | 700 |
| ацетон | -20 | 2,2 | 6 | 13 | 465 |
| ацетилен | - | 3,5 | - | 82 | 335 |
| бензин | -28 | 0,8 | -9 | 5,3 | 260 |
| керосин | 4 | - | 35 | - | 290 |
| дихлорэтан | 8 | 6,2 | 31 | 16 | 525 |
| уксусная кислота | 35 | 3,3 | 76 | 22 | 454 |
| метиловый спирт | 7 | 6 | 39 | 34,7 | 464 |
| этиловый спирт | 11 | 3,6 | 41 | 19 | 404 |
| Оксид углерода | - | 12,8 | - | 75 | 610 |
| толуол | 0 | 1,3 | 30 | 6,7 | 536 |

7.2 Причины образования горючей среды и характеристика источников загорания на предприятиях пищевой промышленности

Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, например спирт на спиртовых и ликерно-водочных предприятиях, бензин в маслоэкстракционных цехах и др., могут образовывать горючие смеси с воздухом при выходе из аппаратов и

трубопроводов ввиду нарушения их герметичности, несоблюдение правил эксплуатации и ремонта.

Наиболее часто утечка легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и их паров происходит через неплотности фланцевых соединений трубопроводов, сальниковых уплотнений насосов и запорной арматуры (задвижки, вентили). Утечка спирта происходит также через воздушники на брагоперегонных (до 0,2 об.% к массе спирта) и брагоректификационных аппаратах. Утечка усиливается при недостаточном охлаждении спирта в холодильниках.

Большая утечка паров бензина или других растворителей наблюдается на маслоэкстракционных заводах. По имеющимся данным, на потери растворителя через неплотности приходится до 78 % общих потерь при нормальном ходе технологического процесса, причем они возрастают с увеличением избыточного давления в аппаратуре и суммарного живого сечения неплотностей.

Взрывоопасные концентрации могут возникать при нарушении технологических режимов или при аварии. Так, возможно образование взрывоопасной смеси паров бензина и воздуха в загрузочном бункере экстрактора в случае понижения уровня перерабатываемого материала (шрота) при неисправности нижнего ограничителя уровня.

Взрывоопасные и горючие среды могут также возникать при разгрузке и чистке оборудования. Такая среда может, например, возникнуть при выгрузке экстрагируемого материала из колонн, при разборке и чистке патронных фильтров от шлама, насыщенного парами бензина. Взрывоопасные (горючие) среды могут образовываться и над продуктами (отходами), содержащими легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, например, взрывоопасные пары спирта могут концентрироваться над поверхностью бардяных ям, пары бензина в значительном количестве могут увлекаться шротом на выходе из шнековых испарителей. Масло может разбрызгиваться по помещению прессового цеха на выходе из прессов.

Источники зажигания, встречающиеся на предприятиях пищевой промышленности, достаточно разнообразны.

Причинами воспламенения могут быть:

- искры механического происхождения, образующиеся при ударе лопастей ротора о корпус вентилятора, ударе ковшей норий о трубы при слабом натяжении ленты, обрыве ковша, ударе стального инструмента, попадании металлопримесей, находящихся в измельчаемом продукте, в вальцовый станок, дробилку и т. п.;

- нагрев подшипников в результате перегрузки, износа, неисправности, попадания песка, пыли, продукта, загорания остатков смазки в подшипниках, а также горючей пыли, осевшей на их поверхность;

- открытый огонь, используемый для технологических целей (топки на твердом, жидком и газообразном топливе, места сжигания отходов, паяльные и нагревательные лампы, горелки), а также возникающий при электрогазосварочных работах;

- непогашенные окурки и спички. Температура очага горения табака в окурке составляет 600-700 °С, т. е. достаточна, чтобы воспламенить большинство горючих веществ. Особенно опасны сигареты, которые сгорают, будучи непотушенными;

- электрический ток. Пожарная опасность электрического тока заключается в его тепловом проявлении, которое при определенных условиях превращается в достаточно мощный источник зажигания горючей среды. Чаще всего такие источники зажигания возникают при несоответствии электрооборудования условиям окружающей среды; при неисправностях и повреждениях, вызванных механическими причинами; при больших токовых перегрузках электрических машин, аппаратов и сетей; при возникновении электрических искр и дуг; при больших переходных сопротивлениях и т. д.;

- разряды статического электричества. Многие технологические процессы пищевых производств сопровождаются появлением зарядов статического электричества .

Важнейшим критерием, определяющим возможность воспламенения взрывоопасных смесей паров, газов и пыли с воздухом, является энергия искры, возникшей при разряде статического электричества.

Например, для воспламенения углеводородных газов или паров жидкостей с воздухом достаточна энергия 0,15-0,28 мДж.

Для многих пылевоздушных взрывоопасных смесей минимальная энергия воспламенения от искрового разряда находится в пределах 10-250 мДж.

7.3 Классификация производств по взрыво- и пожароопасности

Согласно СНиП П-90—81 все производства по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности подразделяются на 6 категорий: А, Б, В, Г, Д, Е.

К взрыво- и пожароопасной категории А отнесены производства связанные с применением:

- газов с нижним пределом воспламенения 10 % и ниже к объему воздуха;
- жидкостей, имеющих температуру вспышки, паров до 28 °С включительно - при условии, что указанные жидкости и газы могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения;
- веществ, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом. К категории А относятся производства по перегонке и ректификации спирта, экстракционные цехи маслособывающих предприятий, связанных с применением бензина, гексана и других легковоспламеняющихся жидкостей.

К взрыво - и пожароопасной категории Б принадлежат производства, связанные с применением или наличием:

- горючих газов с нижним пределом воспламенения более 10 % к объему воздуха;
- жидкостей с температурой вспышки паров выше 28 до 61 °С включительно;
- жидкостей, нагретых в условиях производства до температуры вспышки и выше;
- горючих пылей или волокон, нижний предел воспламенения которых 65 г/м³ и менее к объему воздуха - при условии, что указанные газы, жидкости и пыли могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещений. К этой категории могут быть отнесены: аммиачные

компрессорные, склады бестарного хранения муки и мешковыбивальные отделения, отделения размола сахарного песка в пудру, сушки, упаковки и расфасовки крахмала, хмеледробильное и солододробильное отделения, отделения размола (дробления) зернового сырья, комбикормовые предприятия и т. д.

7.4 Нормирование пожаровзрывоопасных пылей

Согласно ГОСТ 12.1.041 – 83 «Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования» (с изменениями 1988г., 1990 г.) Горючие пыли, находящиеся во взвешенном состоянии в газовой среде характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности:

- нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПР);
- минимальной энергией зажигания (W_{\min});
- максимальным давлением взрыва (P_{\max});
- температурой самовоспламенения ($t_{\text{св}}$);
- минимальным взрывоопасным содержанием кислорода (МВСК).
- скоростью нарастания давления при взрыве.

Горение муки при ее воспламенении может протекать в различных режимах, зависящих от ряда факторов (вспышка, хлопок, локальный и развитый одиночный взрыв). Причины их возникновения непосредственно связаны с образованием в условиях производства взрывоопасных смесей и появлением источников зажигания.

Большая часть производственного оборудования, сооружений и помещений элеваторов и мукомольных заводов связана между собой технологическими и транспортными коммуникациями, аспирационными, вентиляционными и воздушными отопительными сетями, переходными галереями, тоннелями, лестничными клетками, шахтами, технологическими проемами и т.д. Поэтому отдельная вспышка взрывоопасной смеси, локальный одиночный взрыв могут развиваться в серию последовательных мощных пылевоздушных взрывов, распространяющихся по производственному оборудованию, сооружениям и

помещениям всего предприятия.

Условия развития и распространения взрывов усугубляется тем, что многие технологические и транспортные магистрали и коммуникации представляют собой каналы и трубопроводы, заполненные в различной степени мелкодисперсным продуктом. В сооружениях, галереях, тоннелях, шахтах и производственных помещениях скапливаются отложения, россыпи пыли или завалы мелкодисперсных материалов. При появлении внешних возмущений (направленных газовоздушных потоков, ударных волн, вибраций и сотрясений) значительное количество этих мелкодисперсных продуктов переходит в аэрозоль и воспламеняется горячей смесью или раскаленными газами первичного и следующих за ним взрывов.

7.5 Примеры решения задач

Задача 1

Определить размер пожара и его потенциальную энергию при воспламенении мучной пыли на мукомольном заводе, если известна масса сгораемого вещества (муки) $G_H = 68$ т, хранящейся в 17 силосах вместимостью каждый 4 т, длина силоса $L_c = 1,8$ м, высота $H_c = 3,5$ м и ширина $B_c = 1,8$ м.

Решение:

Площадь возможного пожара $F_{\text{пож}}$ определяют по формуле:

$$F_{\text{пож}} = \pi \cdot (V_L \cdot \tau_p)^2, \quad (7.1)$$

где V_L – линейная скорость распространения пламени, м/с, (принимаем 0,12 м/с);

τ_p – расчетное время развития пожара, с (принимаем 120 с).

$$F_{\text{пож}} = 3,14 \cdot (0,12 \cdot 120)^2 = 23440 \text{ м}^2$$

Диаметр пожара:

$$d = \frac{4 \cdot F_{\text{пож}}}{\pi}, \quad (7.2)$$

$$d = \frac{4 \cdot 23440}{3,14} = 172 \text{ м.}$$

Высота пламени h , м:

$$h = 42 \cdot d \cdot \frac{m}{\rho_{\text{в}} \cdot \sqrt{q \cdot d}}^{0.61}, \quad (7.3)$$

где d – диаметр пожара, м;

m – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с) (равна 0.008);

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³ (равна 1,2);

q – ускорение свободного падения, м/с².

$$h = 42 \cdot 172 \cdot \frac{0,008}{1,2 \cdot \sqrt{10 \cdot 172}}^{0.61} = 35 \text{ м}$$

Продолжительность пожара τ , ч рассчитывают исходя из условия, что горючая пыль (мука) горит размещенная в 1 м³ без условия тушения:

$$\tau = \frac{N}{n}, \quad (7.4)$$

где N – количество горючего вещества, кг;

n – скорость выгорания муки, кг/(м²·ч) (равна 100).

Тогда при условии, что 68 т муки размещены в 17 силосах общим объемом V_c
 $= 17 \cdot (H_c \cdot V_c \cdot L_c) = 17 \cdot (3,5 \cdot 1,8 \cdot 1,8) = 187 \text{ м}^3$,

$$\tau = \frac{68000}{100} = 680 \text{ с} = 0,2 \text{ часа}$$

Потенциальная энергия пожара $E_{\text{пож}}$:

$$E_{\text{пож}} = G_{\text{н}} \cdot Q \cdot K, \quad (7.5)$$

где $G_{\text{н}}$ – масса сгораемого вещества, кг;

Q – теплота сгорания горючей пыли, кДж/кг (равна для муки – 93 370 кДж/кг);

K – коэффициент недожога (равен для муки – 0,95).

$$E_{\text{пож}} = 68\,000 \cdot 93\,370 \cdot 0,95 = 6 \cdot 10^9 \text{ кДж.}$$

Итак, потенциальная энергия пожара $E_{\text{пож}}$ равняется $6 \cdot 10^9$ кДж при возможной площади пожара $F_{\text{пож}}$ равной 651 м^2 .

Задача 2

Определить избыточное давление Δp и импульс волны давления i при сгорании горючей пыли в открытом пространстве на мукомольном заводе, если известно что масса горючей пыли $m_{\text{г,п}}=16000$ кг и расстояние от геометрического центра облака до жилого здания $r=100$ м.

Решение:

Находим приведенную массу $m_{\text{пр}}$ по формуле

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{сг}} / Q_0) m_{\text{г,п}} \cdot Z \quad (7.6)$$

где $Q_{\text{сг}}$ - удельная теплота сгорания газа, пара или пылевоздушной смеси, Дж/кг (принять $18 \cdot 10^6$ Дж/кг);

Z - коэффициент участия, который равен 0,05;

Q_0 - константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{г,п}$ - масса горючей пыли, поступившей в результате аварии в окружающее пространство, кг.

$$m_{пр} = \frac{18 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \cdot 16000 \cdot 0,05 = 3200 \text{ кг}$$

Находим избыточное давление Δp по формуле:

$$\Delta p = p_0 \left(\frac{0,8m_{пр}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{пр}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{пр}}{r^3} \right), \quad (7.7)$$

где p_0 - атмосферное давление, равное 101, кПа;

r - расстояние от геометрического центра облака до жилого здания, м;

$m_{пр}$ - приведенная масса горючей пыли, кг:

$$\Delta p = 101 \left(\frac{0,8(3,2 \cdot 10^3)^{0,33}}{100} + \frac{3(3,2 \cdot 10^3)^{0,66}}{100^2} + \frac{5(3,2 \cdot 10^3)}{100^3} \right) = 19,5 \text{ кПа.}$$

Импульс волны давления i , Па·с, рассчитывают по формуле

$$i = \frac{123 \cdot m_{пр}^{0,66}}{r}, \quad (7.8)$$

$$i = \frac{123(3,2 \cdot 10^3)^{0,66}}{100} = 253,2 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Таблица 7.3 - Предельно допустимое избыточное давление при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей в помещениях или в открытом пространстве

| Степень поражения | Избыточное давление, кПа |
|--|-----------------------------|
| Полное разрушение зданий | 100 |
| 50 %-ное разрушение зданий | 53 |
| Средние повреждения зданий | 28 |
| Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т. п.) | 12 |
| Нижний порог повреждения человека волной давления | 5 |
| Малые повреждения (разбита часть остекления) | 3 |

Таким образом, избыточное давление, рассчитанное для заданной ситуации составляет 19,5 кПа. Сравнивая полученное значение с приведенными в таблице 32, избыточное давление при взрыве мучной пыли вызовет умеренное разрушение мукомольного завода.

Задача 3

В результате аварии на электросетях на мукомольном заводе, произошли сбои в электроснабжении, в том числе короткое замыкание. В помещении бункера с атмосферным давлением в бункере $P_0 = 101$ кПа, температурой 293 К и свободным объемом помещения $V_{\Pi} = 50729$ м³ произошла внезапная разгерметизация бункера для хранения муки, за которой последовал аварийный выброс всей находившейся мучной пыли в количестве 3300 кг, а в результате короткого замыкания произошел ее взрыв.

Решение:

Избыточное давление при сгорании пылевоздушной смеси ΔP , кПа, рассчитывается по формуле

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\Pi} \cdot \rho_B \cdot C_B \cdot T_0 \cdot K_H}, \quad (7.9)$$

где m – расчетная масса мучной пыли, кг;

H_T - теплота сгорания истекающего вещества, Дж/кг;

P_0 - начальное атмосферное давление, кПа;

Z - доля участия взвешенной горючей пыли при сгорании пылевоздушной смеси (0,5 при пыли);

V_{Π} - свободный объем помещения, м³;

ρ_B - плотность воздуха до сгорания пылевоздушной смеси при начальной температуре T_0 , кг/м³;

C_B - теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К)

T_0 - начальная температура воздуха в помещении, К;

K_H - коэффициент учитывающий негерметичность емкости.

Таблица 7.4 – Нормативные значения составляющих формулы

| | |
|--|---------------------------|
| Коэффициент участия горючего вещества во взрыве, Z | 0,5 |
| Плотность воздуха, ρ_B | 1,2 (кг/м ³) |
| Теплоемкость воздуха, C_B | 1010 Дж/(кг·К) |
| Коэффициент негерметичности, K_H | 3 |
| Теплота сгорания истекающего вещества, H_T | $18 \cdot 10^6$ Дж/(кг·К) |

$$\Delta P = \frac{3300 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 0,5}{50729 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 293 \cdot 3} = 55,5 \text{ кПа}$$

Таким образом, избыточное давление, рассчитанное для заданной ситуации составляет 55,5 кПа. Сравнивая полученное значение с приведенными в таблице 7.3, избыточное давление при взрыве мучной пыли вызовет 50 %-ное разрушение мукомольного завода.

7.6 Задание для самостоятельной работы

Задача 1.

Определить размер пожара и его потенциальную энергию при воспламенении мучной пыли на мукомольном заводе, если известна масса сгораемого вещества (муки) G_H т, хранящейся в n силосах вместимостью каждый 4 т, длина силоса L_c , высота H_c м и ширина B_c м.

Таблица 7.5 - Исходные данные

| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
|----------------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
| G_H , т | 60-64 | 63-67 | 66-70 | 72-76 | 74-78 | 78-82 |
| Кол-во силосов | 14-18 | 18-22 | 15-19 | 16-20 | 17-21 | 18-22 |
| H_c , м | 3,5 | | | | | |
| B_c , м | 1,7-2,1 | 1,5-1,9 | 1,6-2 | 1,7-2,1 | 1,6-2 | 1,5-1,9 |
| L_c , м | 1,7-2,1 | 1,5-1,9 | 1,6-2 | 1,7-2,1 | 1,5-1,9 | 1,6-2 |

Задача 2.

Определить избыточное давление Δp и импульс волны давления i при сгорании горючей пыли (муки) в открытом пространстве на мукомольном заводе, если известно что масса горючей пыли $m_{г,п}$ кг и расстояние от геометрического центра облака до жилого здания r м. Необходимо определить избыточное давление при сгорании мучной пыли. Сделать вывод по таблице 7.3.

Таблица 7.6 - Исходные данные

| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
|---------------------------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| r , м | 94-98 | 95-99 | 96-100 | 97-101 | 98-102 | 99-103 |
| $m_{г,п} \cdot 10^3$, кг | 15-17 | 15,5-17,5 | 16-18 | 16,5-18,5 | 17-19 | 17,5-19,5 |

Задача 3.

В результате аварии на электросетях на мукомольном заводе, произошли сбои в электроснабжении, в том числе короткое замыкание. В помещении бункера с атмосферным давлением в бункере P_0 кПа, температурой T_0 $^{\circ}\text{C}$ и свободным объемом помещения $V_{\text{п}}$ м^3 произошла внезапная разгерметизация бункера для хранения муки, за которой последовал аварийный выброс всей находившейся мучной пыли в количестве 3300 кг, а в результате короткого замыкания произошел ее взрыв. Необходимо определить избыточное давление при сгорании мучной пыли. Сделать вывод по таблице 7.4.

Таблица 7.7 - Исходные данные

| Вариант | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
|--|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| P_0 , (кПа) | 101-105 | 106-110 | 111-115 | 116-120 | 121-125 | 126-130 |
| $V_{\text{п}} \cdot 10^3$, (м^3) | 22-24 | 22,5-24,5 | 23-25 | 23,5-25,5 | 24-26 | 24,5-26,5 |
| T_0 , ($^{\circ}\text{C}$) | 15-19 | 17-21 | 20-24 | 21-25 | 22-26 | 23-27 |

8 Практическое занятие №8

Прогнозирование масштабов заражения аварийно-химически опасными веществами при аварии на мясокомбинате

8.1 Основные сведения о химических авариях

Аварийно-химически опасные вещества (АХОВ) - это токсичные химические вещества, применяющиеся на производстве и в хозяйстве, способные при утечке из разрушенных и поврежденных технологических емкостей вызвать массовые поражения людей. Наиболее распространёнными АХОВ являются хлор и аммиак.

Хлор – ядовитый, легко сжижающийся газ желтовато-зелёного цвета, тяжелее воздуха в 2,5 раза, с резким запахом. Пары сильно раздражают слизистые оболочки и кожу. При соприкосновении возникают ожоги, при вдыхании появляется боль в груди, сухой кашель, рвота, нарушение координации движений, резь в глазах, слезотечение.

Хлор применяют в пищевой промышленности в качестве отбеливателя ореховой скорлупы и муки, для проведения санитарной обработки оборудования и помещений.

В качестве средств индивидуальной защиты органов дыхания от хлора используют противогазы, дегазирующее вещество – вода, щелочи.

В случаи аварии – необходима срочная эвакуация людей из зоны возможного заражения. Для определения безопасности сотрудников необходимо сравнить расчетное время подхода облака и расчетное время эвакуации.

Размеры зоны заражения характеризуются глубиной и шириной распространения облака. Зона возможного заражения облаком АХОВ ограничена окружностью или сектором, имеющего угловые размеры, зависящие от скорости ветра, и радиус, равный глубине зоны заражения. При ветре более 3 м/с зоны заражения выглядит как сектор с углом 45 градусов, причем биссектриса этого угла совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.

Глубина зоны химического поражения для АХОВ определяется глубиной распространения первичного или вторичного облака. *Первичное облако* - облако газа (пара, аэрозоля) токсичного вещества, образовавшегося мгновенно (от 1 до 3 минут) в результате разрушения или разгерметизации емкости. *Вторичное* - облако, образовавшееся в результате испарения АХОВ с площади разлива.

На глубину распространения АХОВ влияют вертикальные потоки в атмосфере, направление которых характеризуется степенью вертикальной устойчивости атмосферы. Различают три состояния атмосферы по степени вертикальной устойчивости:

- *изотермическое состояние* или *изотермия (ИЗ)* – стабильное равновесие воздуха, состояние атмосферы, наиболее типичное для пасмурной погоды – способствует медленному рассеянию АХОВ;

- *конвективное состояние* или *конвекция (К)* – наличие в атмосфере восходящих потоков теплого воздуха, способствующих рассеянию АХОВ;

- *инверсионное состояние* или *инверсия (ИН)* – повышение температуры в атмосфере по мере увеличения высоты – создаёт наиболее благоприятные условия для поддержания высоких концентраций АХОВ.

Для прогнозирования масштабов заражения АХОВ необходимо иметь данные об их физико-химических свойствах, общему количеству на предприятии и размещению на технологическом оборудовании и складских емкостях, количеству АХОВ, выброшенных в атмосферу и разлитых по подстилающей поверхности (свободно, в поддон или обваловку), о высоте поддона или обваловки складских емкостей. Требуется так же данные о метеорологических условиях в районе аварий, таких как, температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 метров (высота флюгера), степени вертикальной устойчивости воздуха.

Для определения размеров зоны заражения и времени подхода облака АХОВ к объекту, необходимо воспользоваться нормативными таблицами, которые позволяют определить глубину, ширину и площадь заражения при различных состояниях атмосферы и параметрах выброса.

Таблица 8.1 – Определение степени вертикальной устойчивости атмосферы по прогнозу погоды

| Скорость ветра, м/с | Ночь | | Утро | | День | | Вечер | |
|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Ясно, переменная облачность | Сплошная облачность | Ясно, переменная облачность | Сплошная облачность | Ясно, переменная облачность | Сплошная облачность | Ясно, переменная облачность | Сплошная облачность |
| 2 | ИН | ИЗ | ИЗ (ИН) | ИЗ | К (ИЗ) | ИЗ | Ин | ИЗ |
| 2-3,9 | ИН | ИЗ | ИЗ (ИН) | ИЗ | ИЗ | ИЗ | ИЗ (ИН) | ИЗ |
| 4 | ИЗ | ИЗ | ИЗ | ИЗ | ИЗ | ИЗ | ИЗ | ИЗ |

Для нахождения скорости переноса переднего фронта облака зараженного воздуха используют таблицу 8.2, где скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха зависит от скорости ветра V , м/с.

Таблица 8.2 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха в зависимости от скорости ветра

| Скорость ветра, м/с. | Состояние атмосферы (степень вертикальной устойчивости) | | |
|----------------------|--|-----------|-----------|
| | Инверсия | Изотермия | Конвекция |
| 1 | 5 км/ч | 6 км/ч | 7 км/ч |
| 2 | 10 км/ч | 12 км/ч | 14 км/ч |
| 3 | 16 км/ч | 18 км/ч | 21 км/ч |
| 4 | 21 км/ч | 24 км/ч | 18 км/ч |
| 5 | | 29 км/ч | |
| 6 | | 35 км/ч | |
| 7 | | 41 км/ч | |
| 8 | | 47 км/ч | |
| 9 | | 53 км/ч | |
| 10 | | 59 км/ч | |

Время подхода облака АХОВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушными потоками и определяется по формуле

$$t = \frac{X}{V}, \quad (8.1)$$

где X – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км;

V – скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха, м/с (значение определяется по нормативной таблице).

Глубина распространения облака зараженного воздуха – это расстояние от наветренной границы района аварии, пребывание на котором людей может привести к неблагоприятным последствиям. Глубина распространения (L) зависит от метеорологических условий и ориентировочно определяется по таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Глубина распространения облаков зараженного воздуха на открытой местности, при скорости ветра 1 м/с

| Состояние атмосферы | Глубина распространения (L), км |
|---------------------|-------------------------------------|
| Инверсия | 103 |
| Изотермия | 85 |
| Конвекция | 78 |

Глубина распространения облаков зараженного воздуха зависит от температуры воздуха и скорости ветра. Чем сильнее ветер, тем быстрее заражаются смежные территории, но облако паров АХОВ при этом быстрее рассеивается.

При расчетах значение глубины распространения облаков зараженного воздуха умножается на поправочный коэффициент. Значения поправочных коэффициентов для учета влияния скорости ветра и атмосферных условий приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.4– Поправочные коэффициенты

| Состояние атмосферы | Скорость ветра, м/с | | | | | |
|---------------------|---------------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Инверсия | 1 | 0,60 | 0,45 | 0,38 | - | - |
| Изотермия | 1 | 0,71 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,41 |
| Конвекция | 1 | 0,70 | 0,62 | 0,55 | - | - |

Ширина зоны заражения ($Ш$) зависит от степени вертикальной устойчивости воздуха и определяется по следующим соотношениям:

$$\begin{aligned}
 Ш &= 0,03 \cdot Г \text{ – при инверсии;} \\
 Ш &= 0,15 \cdot Г \text{ – при изотермии;} \\
 Ш &= 0,8 \cdot Г \text{ – при конвекции,}
 \end{aligned}
 \tag{8.2}$$

где $Г$ – глубина распространения облака зараженного воздуха, км.

Площадь зоны заражения определяется по формуле

$$S = \frac{Г \cdot Ш}{4},
 \tag{8.3}$$

где S – это площадь зоны заражения, км²;

$Г$ – глубина распространения облака зараженного воздуха, км;

$Ш$ – ширина распространения облака зараженного воздуха, км.

Для полной оценки обстановки в районе аварии необходимо знать время (t), мин, в течение которого облако зараженного воздуха достигнет определенного населенного пункта и в нем возникнет угроза отравления людей.

Это время определяется делением расстояния от места аварии до данного населенного пункта (R) на среднюю скорость переноса облака воздушным потоком, v_{CP} , м/с. Средняя скорость, в свою очередь, зависит от расстояния, метеорологических условий и скорости ветра и определяется по таблице 8.5.

Таблица 8.5 – Средняя скорость переноса облака зараженного воздуха, v_{CP} , м/с

| Скорость ветра, м/с | Инверсия (ИВ) | | Изотермия (ИЗ) | | Конвекция (К) | |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| | $R \leq 10$ км | $R > 10$ км | $R \leq 10$ км | $R > 10$ км | $R \leq 10$ км | $R > 10$ км |
| 1 | 2,0 | 2,2 | 1,5 | 2,0 | 1,5 | 1,8 |
| 2 | 4,0 | 4,5 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 3,5 |
| 3 | 6,0 | 7,0 | 4,5 | 6,0 | 4,5 | 3 |
| 4 | - | - | 6,0 | 8,0 | - | - |
| 5 | - | - | 7,5 | 10,0 | - | - |
| 6 | - | - | 9,0 | 12,0 | - | - |

Характер поражения людей, находящихся в зоне химического заражения может быть различным. Он определяется токсичностью АХОВ и полученной токсодозой. Если население в близлежащих населенных пунктах находится в простейших укрытиях или зданиях и не обеспечено средствами защиты, возможные потери людей, пострадавших от АХОВ могут составлять свыше 50 %.

На основании данного прогноза определяются пути возможного предотвращения подобных аварий и способы своевременного предупреждения и защиты людей в близлежащих населенных пунктах.

8.2 Пример решения задачи

Днем в ясную погоду на территории мясокомбината произошло разлитие хлора, который применяется для производственных нужд. Определить ширину зоны заражения (Ш), площадь зоны заражения (S), время (t) подхода облака АХОВ к заданному объекту при утечке хлора, где скорость ветра 4 м/с, расстояние от источника заражения до заданного объекта 1550 м.

Решение:

Определяем время подхода облака АХОВ к заданному объекту:

$$t = \frac{X}{V} = \frac{1,550}{0,024} = 64,6 \text{ с.} \approx 1 \text{ мин.}$$

Определяем ширину зоны заражения:

$$\text{Ш} = 0,15 * \Gamma = 0,15 * 42,5 = 6,375 \text{ км.}$$

Определяем площадь зоны заражения:

$$S = \frac{\Gamma * \text{Ш}}{4} = \frac{42,5 * 6,375}{4} = 68 \text{ км}^2.$$

8.3 Задание для самостоятельной работы

Утром в пасмурную погоду на территории мясокомбината произошло разлитие хлора, который применяется для производственных нужд.

Схема распространения зараженного облака при скорости ветра V м/с показана на рисунке 8.1

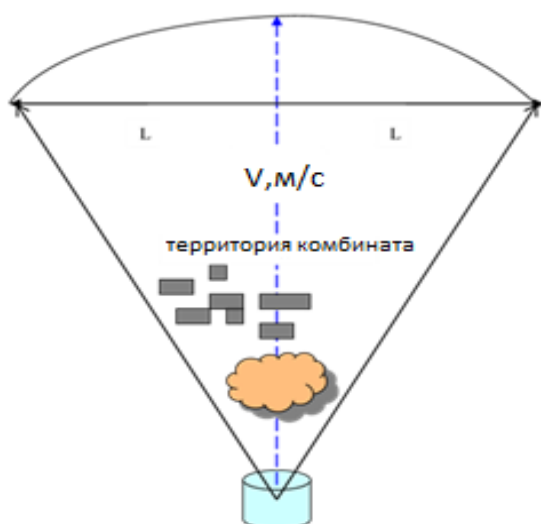


Рисунок 8.1 – Схема распространения зараженного облака АХОВ

Определить ширину зоны заражения ($Ш$), площадь зоны заражения (S), время (t) подхода облака АХОВ к заданному объекту при утечке хлора, где скорость ветра V -м/с, расстояние от источника заражения до заданного объекта X - м.

Исходные данные в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Исходные данные

| Вариант | Исходные данные | |
|---------|----------------------------|--|
| № | Скорость ветра $V, м/с$ | Расстояние от источника заражения до заданного объекта $X, м$ |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | 2 | 1000 |
| 2 | 3 | 1100 |
| 3 | 4 | 1200 |
| 4 | 2 | 1300 |
| 5 | 2,5 | 1400 |

Продолжение таблицы 8.6

| 1 | 2 | 3 |
|----|-----|------|
| 6 | 3,5 | 1500 |
| 7 | 4 | 1550 |
| 8 | 2 | 1450 |
| 1 | 2 | 1300 |
| 9 | 3 | 1350 |
| 10 | 4 | 1250 |
| 11 | 2 | 1150 |
| 12 | 2,5 | 1050 |
| 13 | 3,5 | 1000 |
| 14 | 4 | 1100 |
| 15 | 2 | 1200 |
| 16 | 3 | 1300 |
| 17 | 4 | 1400 |
| 18 | 2,5 | 1500 |
| 19 | 3,5 | 1550 |
| 20 | 4 | 1450 |
| 21 | 2 | 1350 |
| 22 | 3 | 1250 |
| 23 | 4 | 1150 |
| 24 | 2,5 | 1050 |
| 25 | 3,5 | 1550 |
| 26 | 4 | 1450 |
| 27 | 2,5 | 1350 |
| 28 | 2 | 1400 |
| 29 | 3 | 1500 |
| 30 | 4 | 1550 |

Список использованных источников

1 Солопова, В. А. Безопасность в пищевой промышленности [Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / В. А. Солопова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ОГУ. – 2017.– Режим доступа: http://artlib.osu.ru/site_new/find-book.

2 Бурашников, Ю.М. Производственная безопасность на предприятиях пищевых производств : учебник / Ю.М. Бурашников, А.С. Максимов, В.Н. Сысоев. – М. : Дашков и Ко, 2016. – 520 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/453422>.

3 Бурашников, Ю.М. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда на предприятиях пищевых производств / Ю.М. Бурашников, А.С. Максимов. – СПб.: Гиорд, 2007. – 416 с.

4 Новиков, Е. А. Охрана труда в пищевой промышленности / Е.А. Новиков, М.А. Бурова. – М.: АйПиЭр-Медиа, 2009. – 224с.

5 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С.В. Белов. - 5е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2015. - 702 с.

6 Рензяев, О.П. Технологическое оборудование предприятий макаронной промышленности: учебное пособие / О.П. Рензяев. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2004. – 230 с.

7 Рахимова, Н.Н. Производственный шум. Нормирование. Методы снижения шума : учеб. пособие / Н.Н. Рахимова, Л.Г. Проскурина, Е.А. Колобова. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 106 с.

8 Грузинцева, В.А. Эргономика: учебное пособие к практическим занятиям / В.А. Грузинцева, В.М. Воронова. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 107 с.

9 Анцыпович, И.С. Охрана труда на предприятиях мясной и молочной промышленности: учебник / И. С. Анцыпович, Ю. Н. Виноградов, В. Н. Горюшкин. – М.: Колос, 1992. – 238 с.: ил.

10 Самойлов, А. И. Охрана труда при обслуживании холодильных установок : учебное пособие для учащихся техникумов / А.И. Самойлов, В.Г. Игнатъев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с: ил.

11 Доценко, В. А. Практическое руководство по санитарному надзору за предприятиями пищевой промышленности, общественного питания и торговли : учеб. пособие / В. А. Доценко. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ГИОРД, 2003. – 520 с.

12 Лунин, О.Г. Оборудование предприятий пищевой промышленности / О.Г. Лунин, А.Я. Черноиванник. – М.: «Пищепромиздат», 2001. – 235 с.

13 ГОСТ 31529-2012. Машины и оборудование для хлебопекарной промышленности. Требования безопасности. – Введ. 2012-11-20. – Санкт-Петербург: АО «Кодекс», 2016. – Режим доступа: [http:// docs.cntd.ru/document/1200102314](http://docs.cntd.ru/document/1200102314).

14 Егель, А. Э. Расчет необходимого воздухообмена в производственных помещениях : метод. указания к выполнению раздела "Безопасность труда" в диплом. проектах / А. Э. Егель, Е. Э. Савченкова, С. Х. Корчагина. - Оренбург: ОГУ, 2006. - 12 с.

15 Технологическое оборудование мясокомбинатов / С.А. Бредихин [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 392 с.

16 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). – Введ. 1992-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-004-91-ssbt>.

17 Жилин, А.Н. Оценка химической обстановки при разрушении (аварии) объектов, имеющих аварийно-химически опасные вещества (АХОВ) : методические указания / А.Н. Жилин, С.В. Стадникова, В.И. Винник. - Оренбург: ИПК ОГУ, 2000. – 27 с.

18 Жилин, А. Н. Устойчивость функционирования объектов экономики в чрезвычайных ситуациях : методические указания / А. Н. Жилин, Н. Н. Денисова. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 47 с.

19 Ефремов, И.В. Исследование сопротивления заземляющего устройства : методические указания / И.В. Ефремов, Л.Г. Проскурина, В.М. Воронова, В.А. Грузинцева. – Оренбург, ГОУ ОГУ, 2006. – 19 с.

20 Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учеб. пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 2001. – 318 с.

21 Беляков, Г. И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда : учебник для бакалавров: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 110800 – "Агроинженерия" / Г. И. Беляков.- 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2013. – 573 с.

22 Солопова, В. А. Расчеты по охране труда и производственной безопасности [Электронный ресурс] : методические указания для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / В. А. Солопова, В. Е. Дудоров; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. безопасности жизнедеятельности. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 0.40 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2018. – 28 с.

23 Веселов, С.А. Практикум по вентиляционным установкам. Изд. 2-е переработанное и дополненное / С.А. Веселов – М.: Колос, 1982. – 166 с.

24 Руководство по охране труда на малых предприятиях / под ред. Н.Р. Абрамова. М.: Изд-во «Безопасность труда и жизни», 2003. – 52 с.

25 Штокман, Е.А. Вентиляция на предприятиях масложировой промышленности / Е.А. Штокман, В.А. Шилов, Е.И. Богуславский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 111 с.

26 ГАРАНТ Платформа F1 : справочно-правовая система - объем информационного банка более 1 500 000 документов и комментариев к нормативным актам: еженедельное пополнение составляет около 7 000 документов. / Разработчик ООО НПП "ГАРАНТ-Сервис", 119992, Москва, Воробьевы горы, МГУ, 2014 – Режим доступа к системе в сети ОГУ:

\\fileserver1\GarantClient\garant.exe.

Приложение А

(справочное)

Предельно-допустимые уровни звукового давления

Таблица А.1 – Предельно допустимые уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест СН 2.2.4/2.1.8.562-96

| Вид трудовой деятельности, рабочее место | Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБа |
|---|---|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1.Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно - конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах. | 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |

Продолжение таблицы А.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2. Высококвалифицированная работа требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лабораториях: рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях | 93 | 79 | 70 | 68 | 58 | 55 | 52 | 52 | 49 | 60 |
| 3. Работа выполняется с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. | 96 | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |

Продолжение таблицы А.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 4.Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессу наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин | 103 | 91 | 83 | 73 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |
| 5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1 - 4 и аналогичных им) на постоянные рабочие места в производстве помещениях и территории предприятий | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |

Таблица А.2 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах ГОСТ 12.1.003-83

| Вид трудовой деятельности, рабочее место | Уровень звукового давления, дБ, в составных среднегеометрических частотах, Гц | | | | | | | | | | Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБа |
|---|---|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----|--|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| Предприятия, организации, учреждения | | | | | | | | | | | |
| 1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах | 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 | |
| 2. Высокотехнологичная работа требующая сосредоточенности, измерительные и аналитические работы | 93 | 79 | 70 | 63 | 58 | 55 | 52 | 52 | 49 | 60 | |

Продолжение таблицы А.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 3. Работа выполняется с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочее место в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с голосовой речью | 96 | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |
| 4. Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессу наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием | 103 | 91 | 83 | 73 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |
| 5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1 - 4 и аналогичных им) на постоянные рабочие места в производстве | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |

Приложение Б

(справочное)

Данные для расчета виброизоляции

Таблица Б.1 - Величина статической осадки материала $x_{СТ}$ для различных материалов

| Материалы | $x_{СТ}, см$ |
|-----------------------------|-------------------------|
| Губчатая резина | $0,01 \cdot h$ |
| Мягкая резина | $0,016 \cdot h$ |
| Резина средней жесткости | $(0,015-0,016) \cdot h$ |
| Пробка натуральная | $0,05 \cdot h$ |
| Плита из пробковой крошки | $(0,010-0,017) \cdot h$ |
| Войлок мягкий | $(0,010-0,015) \cdot h$ |
| Войлок жесткий прессованный | $0,0155 \cdot h$ |

Приложение В

(справочное)

Таблица В.1 – Поправочный коэффициент к для завес смешивающего типа

| Забор воздуха снаружи | Забор воздуха из вестибюля закрытого типа | | | Забор воздуха из вестибюля открытого типа | | | Значения k при числе людей n, проходящих через вход в здание за 1 ч | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|-----------------------|-----------|---|------------------------|-----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| | Тройные | Двойные или вращаю-ся | Одинарные | Тройные | Двойные или вращаю-щие | Одинарные | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,25 | 0,31 | 0,39 | 0,43 | 0,47 | 0,51 | 0,55 | 0,58 | 0,61 | |
| 0,08 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,28 | 0,35 | 0,43 | 0,47 | 0,51 | 0,55 | 0,58 | 0,61 | | | |
| 0,12 | 0,07 | 0,1 | 0,14 | 0,1 | 0,14 | 0,18 | 0,11 | 0,11 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,31 | 0,39 | 0,47 | 0,55 | 0,61 | | | | | | | |
| 0,16 | 0,1 | 0,14 | 0,18 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,14 | 0,14 | 0,19 | 0,25 | 0,31 | 0,39 | 0,47 | 0,55 | 0,61 | | | | | | | | |
| 0,2 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,17 | 0,22 | 0,27 | 0,16 | 0,16 | 0,21 | 0,28 | 0,35 | 0,43 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | | | | | | | | |
| 0,21 | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,19 | 0,23 | 0,27 | 0,18 | 0,18 | 0,23 | 0,31 | 0,39 | 0,47 | 0,55 | 0,61 | | | | | | | | | |
| 0,24 | 0,18 | 0,23 | 0,27 | 0,23 | 0,27 | 0,31 | 0,2 | 0,2 | 0,26 | 0,34 | 0,43 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | | | | | | | | | |
| 0,28 | 0,23 | 0,27 | 0,32 | 0,27 | 0,32 | 0,35 | 0,25 | 0,25 | 0,3 | 0,38 | 0,47 | 0,55 | 0,61 | | | | | | | | | | |
| 0,31 | 0,25 | 0,31 | 0,35 | 0,31 | 0,35 | 0,39 | 0,28 | 0,28 | 0,34 | 0,43 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | | | | | | | | | | |
| 0,34 | 0,29 | 0,34 | 0,39 | 0,34 | 0,39 | 0,43 | 0,32 | 0,32 | 0,38 | 0,47 | 0,55 | 0,61 | | | | | | | | | | | |
| 0,38 | 0,32 | 0,47 | 0,43 | 0,47 | 0,43 | 0,46 | 0,35 | 0,35 | 0,41 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | | | | | | | | | | | |
| 0,41 | 0,34 | 0,4 | 0,46 | 0,4 | 0,46 | 0,49 | 0,38 | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | | | | | | | | | | | |
| 0,44 | 0,37 | 0,43 | 0,49 | 0,43 | 0,49 | 0,52 | 0,41 | 0,41 | 0,48 | 0,55 | 0,61 | | | | | | | | | | | | |
| 0,47 | 0,4 | 0,46 | 0,52 | 0,46 | 0,52 | 0,55 | 0,44 | 0,44 | 0,51 | 0,58 | 0,61 | | | | | | | | | | | | |
| 0,49 | 0,42 | 0,49 | 0,55 | 0,49 | 0,55 | 0,58 | 0,46 | 0,46 | 0,54 | 0,61 | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы В.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-----------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Забор воздуха снаружи | Тройные | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,2 | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,29 | 0,31 | 0,33 |
| | Двойные или вращающиеся | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,24 | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,38 | 0,4 | 0,42 |
| Забор воздуха снаружи | Тройные | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,2 | 0,23 | 0,26 | 0,28 | 0,3 | 0,33 | 0,35 | 0,37 |
| | Двойные или вращающиеся | 0,03 | 0,07 | 0,09 | 0,14 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,34 | 0,35 | 0,38 | 0,4 | 0,42 |

Приложение Г

(справочное)

Таблица Г.1 - Значения коэффициента сезонности (K_C) по климатическим зонам

| Тип электрода | Климатические зоны России | | | |
|--|---------------------------|---------|---------|---------|
| | I | II | III | IV |
| Вертикальные (стержневые) электроды длиной от 2 до 3 м при глубине заложения от 0,5 до 0,6 м | 1,8-2,0 | 1,5-1,8 | 1,4-1,6 | 1,2-4,1 |
| Горизонтальные (полосовые) электроды при глубине 0,8 м | 4,5-7,0 | 3,5-4,5 | 2,0-2,5 | 1,5-2,0 |

Примечание – Климатические зоны России:

- **зона I** – Карелия; Коми; Архангельская и Кировская обл.; Заволжье, восточнее Казани и Самары; Урал; Оренбургская, Омская, Новосибирская, Иркутская, Читинская обл.; южные районы Тюменской обл., Хабаровского, Красноярского и Приморского краев; Сахалинская обл.;
- **зона II** - Ленинградская обл.; южная часть Карелии; Волгоградская обл.; центральные районы РФ до Волгоградской обл. на юге;
- **зона III** – Псковская, Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская, Ростовская области;
- **зона IV** – Ставропольский край, Краснодарский край, Астраханская область.

Приложение Д

(справочное)

Коэффициенты использования (экранирования) заземлителей

Таблица Д.1 - Коэффициент использования вертикальных заземлителей без учета влияния полосы связи

| Отношение расстояния между стержнями их длине a/l | Число вертикальных стержней | | | | |
|---|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 4 | 6 | 10 | 20 | 40 |
| 1 | 0,66-0,72 | 0,58-0,65 | 0,52-0,58 | 0,44-0,50 | 0,38-0,44 |
| 2 | 0,76-0,80 | 0,71-0,75 | 0,66-0,71 | 0,61-0,66 | 0,55-0,61 |
| 3 | 0,84-0,85 | 0,78-0,82 | 0,74-0,78 | 0,68-0,73 | 0,64-0,69 |

Таблица Д.2 - Коэффициент использования соединительных полос

| Отношение расстояния между стержнями их длине a/l | Число вертикальных стержней | | | | |
|---|-----------------------------|------|------|------|------|
| | 4 | 6 | 10 | 20 | 40 |
| 1 | 0,45 | 0,40 | 0,34 | 0,27 | 0,23 |
| 2 | 0,55 | 0,48 | 0,40 | 0,32 | 0,29 |
| 3 | 0,70 | 0,64 | 0,56 | 0,45 | 0,40 |