

**А. Я. Корольченко  
Д. О. Загорский**

**КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ  
ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ  
ОПАСНОСТИ**

Москва

Издательство "Пожнаука"

2010

Филиал  
ОАО "ВНИПинетфть"  
г. Пермь

УДК 614.841  
ББК 38.96

**Корольченко, А. Я.** Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности / Александр Яковлевич Корольченко, Дмитрий Олегович Загорский. — М. : Изд-во “Пожнаука”, 2010. — 118 с. : ил.

ISBN 978-5-91444-015-9

В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям “Пожарная безопасность”, “Безопасность технологических процессов и производств”, “Безопасность жизнедеятельности в техносфере”, студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности “Промышленное и гражданское строительство”, сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

УДК 614.841.41  
ББК 38.96

ISBN 978-5-91444-015-9

© А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский, 2010  
© Издательство “Пожнаука”, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Развитие системы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности .....	10
2. Категорирование помещений с горючими газами .....	15
2.1. Общие принципы категорирования .....	15
2.2. Помещение зарядки аккумуляторных батарей .....	16
2.3. Помещение ремонта и технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на природном газе .....	20
2.4. Помещение ремонта и технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на пропан-бутановых смесях .....	23
2.5. Цех получения кремния .....	25
3. Категорирование помещений с легковоспламеняющимися жидкостями .....	29
3.1. Общие принципы категорирования .....	29
3.2. Склад ацетона .....	30
3.3. Помещение хранения топлива для резервной дизельной установки .....	34
3.4. Помещение сушильно-пропиточного отделения .....	39
4. Категорирование помещений с горючими жидкостями .....	50
4.1. Особенности категорирования .....	50
4.2. Цех разделения воздуха .....	51
4.3. Цех консервации и упаковки станков .....	52
4.4. Помещения с высокотемпературными органическими теплоносителями .....	56
5. Категорирование помещений с горючими пылями .....	58
5.1. Особенности категорирования .....	58
5.2. Цех фасовки растворимого напитка .....	60
5.3. Склад мукомольного комбината .....	62
6. Категорирование помещений с твердыми горючими материалами .....	65
6.1. Особенности категорирования .....	65
6.2. Стеллажный склад .....	67
6.3. Производственная лаборатория .....	69
7. Категорирование помещений с взрывореагирующими веществами .....	70
Список литературы .....	72
<i>Приложение. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности .....</i>	<i>75</i>

## ВВЕДЕНИЕ

---

Принятая в нашей стране система категорирования производственных и складских помещений и зданий определяет уровень их взрывопожарной и пожарной опасности. Назначение категории здания влечет за собой комплекс пожарно-профилактических мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию зданий, безопасность людей и сохранность материальных ценностей.

Установление той или иной категории формирует противопожарные требования к планировке и застройке промышленных предприятий, этажности производственных зданий, огнестойкости применяемых строительных конструкций, размерам площадей пожарных отсеков, расположению и протяженности путей эвакуации, применению легкобросываемых противовзрывных конструкций, использованию электрооборудования с соответствующей взрыво- и пожарозащитой, ограничению источников зажигания и др.

Приведенный перечень мероприятий свидетельствует о важности правильного установления категории, поскольку ошибки в этой области определяют недостаточность или избыточность мероприятий по предупреждению пожаров и пожарной защите и, соответственно, материальных затрат на эти мероприятия.

Пособие посвящено изложению принципов категорирования и их применения для типовых строительных объектов, проектируемых для эксплуатации в качестве помещений и зданий производственного и складского назначения.

1 мая 2009 г. вступил в силу Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1]. Данный Федеральный закон разработан в целях защиты жизни, здоровья, имущества граждан и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров. Он определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям, сооружениям и строениям, промышленным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения.

В развитие данного Федерального закона был разработан свод правил СП 12.13130.2009 “Определение категорий помещений, зданий и наружных

установок по взрывопожарной и пожарной опасности” [2]. Этот документ устанавливает методику определения категорий помещений и зданий производственного и складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасности в зависимости от количества и пожаровзрывоопасных свойств находящихся (обращающихся) в них веществ и материалов с учетом особенностей технологических процессов размещенных в них производств.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории [2]:

- повышенная взрывопожароопасность (А);
- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В1 – В4);
- умеренная пожароопасность (Г);
- пониженная пожароопасность (Д).

Здания, сооружения, строения и помещения иного назначения разделению на категории не подлежат.

Категории помещений и зданий определяются исходя из вида находящихся в них горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

Категории зданий, сооружений и строений по пожарной и взрывопожарной опасности определяются исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании, сооружении, строении.

Взрывопожароопасность помещений категорий А и Б обусловлена возможностью образования в них при аварийных ситуациях взрывоопасных газо-, паро- или пылевоздушных смесей, взрыв которых может привести к разрушению здания. Поэтому безопасность таких помещений обеспечивается в первую очередь исключением любых источников зажигания и реализацией мероприятий, ослабляющих действие взрыва на несущие конструкции здания (например, устройство легкобрасываемых конструкций).

В помещениях категорий В и Д взрывы невозможны, но присутствие горючих материалов (в помещениях категории Д горючие материалы могут быть в составе конструкций здания) делает такие помещения потенциально пожароопасными. Мероприятия по обеспечению безопасности базируются, в основном, на обнаружении пожара, ликвидации его на начальной стадии и ограничении распространения.

К категории Г относятся разнородные по уровню опасности помещения, например цеха металлургических предприятий и котельные, в которых сжигается твердое, жидкое или газообразное топливо. В этих помещениях возможно одновременное присутствие горючих смесей и источников зажигания, поэтому мероприятия по пожарной безопасности для помещений категории Г разрабатываются с учетом указанных обстоятельств.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл. 1 [2].

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в табл. 1, от наиболее опасной (А) к наименее опасной (Д).

Для помещений с горючими газами (ГГ), горючими (ГЖ) и легковоспламеняющимися (ЛВЖ) жидкостями, горючими пылями и волокнами избы-

**Таблица 1.** Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
<b>А</b> повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
<b>Б</b> взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
<b>В1 – В4</b> пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.
<b>Г</b> умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
<b>Д</b> пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.
<p><b>Примечание.</b> Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку. Разделение помещений на категории В1 – В4 регламентируется положениями, изложенными в приложении Б свода правил [2].</p>	

точное давление взрыва рассчитывается по формулам приложения А свода правил [2]:

- для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, O, N, Cl, Br, I, F:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_{z,n}} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n}, \quad (1)$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозвушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным в соответствии с требованиями п. 4.3 [2], при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг;

$Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения [2], допускается принимать по рекомендациям свода правил [2];

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_{z,n}$  — плотность газа или пара при расчетной температуре  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>;

$C_{ст}$  — стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % об.;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, допускается принимать равным трем;

- для индивидуальных веществ, а также для смесей:

$$\Delta P = \frac{mH_m P_0 Z}{V_{св} \rho_v C_p T_0} \frac{1}{K_n}, \quad (2)$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$\rho_v$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг·м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>, допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$T_0$  — начальная температура воздуха, К;

- для горючих пылей расчет избыточного давления  $\Delta P$  производится по формуле (2), где коэффициент  $Z$  участия взвешенной пыли в горении рассчитывают по формуле

$$Z = 0,5F, \quad (3)$$

где  $F$  — массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэрозоль становится неспособной распространять

пламя. В отсутствие возможности получения сведений для оценки данной величины допускается принимать  $F = 1$ ;

- для гибридных смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (4)$$

где  $\Delta P_1$  — избыточное давление, вычисленное для горючего газа (пара) в соответствии с [2];

$\Delta P_2$  — избыточное давление, вычисленное для горючей пыли в соответствии с [2];

- для веществ и материалов, способных сгорать при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, расчетное избыточное давление  $\Delta P$  определяют по [2], полагая  $Z = 1$  и принимая в качестве  $H_m$  энергию, выделяющуюся при взаимодействии (с учетом сгорания продуктов взаимодействия до конечных соединений), или экспериментально в ходе натуральных испытаний. В случае, когда определить величину  $\Delta P$  не представляется возможным, следует принимать ее превышающей 5 кПа.

Для помещений с горючими и трудногорючими жидкостями, твердыми горючими и трудногорючими веществами и материалами необходимо определить удельную пожарную нагрузку по формуле

$$g = Q/S, \quad (5)$$

где  $S$  — площадь размещения пожарной нагрузки,  $m^2$  (но не менее  $10 m^2$ );

$Q$  — пожарная нагрузка, МДж, определяемая по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{ni}^p, \quad (6)$$

где  $G_i$  — количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{ni}^p$  — низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж · кг<sup>-1</sup>.

После определения величины пожарной нагрузки необходимо осуществить проверку помещения на принадлежность к категориям В1 — В4 в соответствии с табл. 1. Затем следует проверить условия и способы размещения пожарной нагрузки в соответствии с [2].

*Требования пожарной безопасности, устанавливаемые в зависимости от категории зданий, сооружений, строений и помещений*

Классификация зданий, сооружений, строений и помещений по пожарной и взрывопожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей



и имущества в случае возникновения пожара в зданиях, сооружениях, строениях и помещениях. Далее приведены некоторые из этих требований.

В зданиях, сооружениях и строениях помещения категорий А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности должны размещаться у наружных стен, а в многоэтажных зданиях, сооружениях и строениях — на верхних этажах, за исключением случаев, указанных в технических регламентах для данных объектов.

В противопожарных преградах, отделяющих помещения категорий А и Б от помещений других категорий, коридоров, лестничных клеток и лифтовых холлов, должны быть предусмотрены тамбур-шлюзы с постоянным подпором воздуха. Устройство общих тамбур-шлюзов для двух и более смежных помещений категорий А и Б не допускается.

При невозможности устройства тамбур-шлюзов в противопожарных преградах, отделяющих помещения категорий А и Б от других помещений, или противопожарных дверей, ворот, штор, люков и клапанов в противопожарных преградах, отделяющих помещения категории В от других помещений, следует предусматривать комплекс мероприятий по предотвращению распространения пожара на смежные этажи и в смежные помещения.

В проемах противопожарных преград, которые не могут закрываться противопожарными дверями или воротами, для сообщения между смежными помещениями категории В или Г и помещениями категории Д должно быть предусмотрено устройство открытых тамбуров, оборудованных установками автоматического пожаротушения, или должны быть установлены вместо дверей и ворот противопожарные шторы, экраны. Ограждающие конструкции этих тамбуров должны быть противопожарными.

В зависимости от категории помещений по пожарной и взрывопожарной опасности рассчитываются расход воды на наружное пожаротушение производственных объектов и складских зданий (табл. 9 и 10 [1]), а также продолжительность работы установок автоматического пожаротушения.

Современная система категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, реализованная в нормативных документах, разработана отечественными учеными и специалистами:

ВНИИПО МЧС РФ — д. т. н., проф. Баратовым А. Н.; д. т. н., проф. Кольченко А. Я.; д. т. н., проф. Шебеко Ю. Н.; д. т. н. Вогманом Л. П.; д. т. н. Полетаевым Н. Л.; д. т. н. Цариченко С. Г.; д. т. н. Навценой В. Ю.; д. т. н., проф. Молчадским И. С.; к. т. н. Смолиным И. М.; к. т. н. Малкиным В. Л.;

Московского государственного строительного университета — к. т. н., проф. Пчелинцевым В. А.; к. т. н., проф. Пушенко В. Л.; к. т. н. Никоновой Е. В.;

ЦНИИПромзданий — к. т. н. Стороженко Т. Е.;

Академии ГПС МЧС РФ — к. т. н. Васюковым Г. В.

## 1. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

---

Методы категорирования производств по взрывопожарной и пожарной опасности с момента их первоначального введения в 1939 г. постоянно развиваются и совершенствуются. Нормативы, разработанные НКВД СССР (ОСТ 90 015-39 "Общесоюзные нормы строительного проектирования промышленных предприятий") для целей категорирования, учитывали некоторые пожароопасные свойства веществ и материалов (агрегатное состояние, горючесть, температуру вспышки) и, в первом приближении, определенные особенности технологических процессов. Несмотря на приблизительность такого подхода, введение в стране системы категорирования сыграло положительную роль.

Первая попытка совершенствования методики категорирования была предпринята в 1952 г. при издании Н 102-51 "Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест". В этих нормах путем введения новой характеристики пожарной опасности — нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) — более полно учитывались пожароопасные свойства веществ. Это позволяло более дифференцировано подойти к оценке пожарной опасности производственных помещений. Аналогичный подход реализован и в нормах 1962 г. (СНиП II-М.2-62 "Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования").

Указанные выше нормативные документы хотя и учитывали наиболее важные показатели пожаровзрывоопасности обращающихся в производствах веществ, практически не содержали количественных критериев уровня опасности производственных помещений. В связи с этим по формальным признакам помещения, в которых находилось незначительное количество горючих веществ, должны были относиться к взрывопожароопасным и пожароопасным категориям А, Б и В. Исключение было сделано лишь для электrorаспределительных устройств с выключателями и аппаратурой, содержащей не более 60 кг масла в единице оборудования. Кроме того, к категориям А, Б и В в этих нормах разрешалось не относить производства, в которых горючие вещества сжигались в качестве топлива или утилизировались путем сжигания, а также производства, в которых технологические процессы протекали

с применением открытого пламени. Последнее обстоятельство следует рассматривать как необоснованное снижение требований пожарной безопасности, поскольку наличие открытого огня усугубляет пожарную опасность технологического процесса, на что совершенно справедливо указывал М. В. Бесчастнов [3].

Безусловным шагом вперед явилось создание норм 1972 г. (СНиП II-М.2-72 "Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования"), в которых был введен количественный критерий взрывопожароопасности. Производство относилось к категории А или Б, если количество горючих веществ, выходящих в результате аварии в помещении, способно образовывать взрывоопасную смесь с воздухом в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения. Это позволяло не относить к взрывопожароопасным производства, в которых обрабатывалось небольшое количество горючих газов, паров и пылей. Было снижено со 120 до 61 °С значение температуры вспышки жидкостей, разделяющее категории Б и В.

Очередной пересмотр строительных норм и правил состоялся в 1981 г. (СНиП II-90-81 "Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования") и не сопровождался существенными изменениями системы категорирования. Вместе с тем в результате производившихся научных исследований и на основе практики использования нормативных документов выявилась необходимость совершенствования системы категорирования. Было установлено, что при сгорании одинаковых локальных взрывоопасных объемов разных веществ, величины которых рассчитывались в соответствии со СНиП II-90-81 и развивающими их "Указаниями по определению категорий производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности" (СН 463-74), избыточное давление взрыва может различаться в два и более раза и, таким образом, воздействие взрыва на строительные конструкции будет существенно различным.

Изучение пожаровзрывоопасности промышленных пылей показало, что аэрозвеси веществ с НКПР, превышающим  $65 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ , зачастую оказываются более опасными, чем аэрозвеси веществ с НКПР ниже  $65 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$  [4]. Если учесть относительно невысокую точность измерения НКПР пылей, становится очевидной несостоятельность деления пылевых производств на взрывопожароопасные и пожароопасные по величине НКПР. Помимо этого было установлено, что не вся масса горючих газов, паров и пылей, выходящих в объем производственных помещений, принимает участие во взрыве. В связи с этим требовалось уточнить долю участия, т. е. коэффициент  $Z$  участия горючего газа, пара или пыли во взрыве. В прежних нормах отсутствовала методика категорирования зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, что вызывало определенные затруднения у проектировщиков. Были и другие, более мелкие недочеты прежней системы категорирования, которые необходимо было исправить [5-8].

Устранение отмеченных недостатков привело к созданию нового нормативного документа по категорированию — Общесоюзных норм технологического проектирования “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” (ОНТП 24–86 МВД СССР). Разработка этого документа была осуществлена специалистами ВНИИПО совместно с ЦНИИПромзданий, МИСИ им. В. В. Куйбышева и ГУПИКС Мин-электронпрома СССР.

Наиболее важным положением ОНТП 24–86 являлось использование в качестве критерия взрывопожарной опасности расчетного избыточного давления взрыва  $\Delta P$  локальных взрывоопасных газо-, паро- или пылевоздушных смесей, образующихся в объеме производственных помещений в результате нормальной работы технологического оборудования или в аварийной ситуации. Величина  $\Delta P$  в отличие от локального взрывоопасного объема напрямую показывает, насколько велика опасность взрыва. Сопоставляя расчетное значение  $\Delta P$  с допустимой величиной, выбираемой из условия безопасности людей, неразрушаемости основных строительных конструкций и технологического оборудования, можно однозначно определить, является ли помещение взрывопожароопасным или только пожароопасным. В качестве допустимой величины избыточного давления принято значение 5 кПа. По результатам многочисленных отечественных и зарубежных исследований, это давление не приводит к разрушению основных строительных конструкций, а также технологического оборудования. Оно безопасно для человека. В нормах США (1980 г.) указывается, что при давлении в ударной волне 15 кПа происходит временная потеря слуха, а при его значениях в диапазоне 5,9–8,3 кПа поражение человека возможно только от осколков стекла и других обломков.

Несмотря на несомненные достоинства, ОНТП 24–86 обладали и определенными недостатками, основным из которых являлось отсутствие количественной оценки пожарной опасности помещений. При этом помещения даже с очень небольшой пожарной нагрузкой относились к категории В, для которой СНиП предусматривали большой комплекс противопожарных мероприятий, излишний для помещений с малым количеством горючих веществ и материалов. Указанный недостаток был устранен введением норм пожарной безопасности НПБ 105–95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности”. При этом данные нормы не рассматривали категорирование наружных установок, несмотря на то, что наиболее пожароопасные производства как правило располагаются на открытых технологических площадках. В 1997 г. ВНИИПО была разработана методика определения указанных категорий, которая легла в основу НПБ 107–97 “Определение категорий наружных установок по пожарной опасности”. В 2003 г. проработанные и дополненные НПБ 105–95 и НПБ 107–97 были объединены в один документ — НПБ 105–03 “Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности”.

1 мая 2009 г. вступил в силу Федеральный закон Российской Федерации № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1]. В развитие данного Федерального закона был разработан свод правил СП 12.13130.2009 “Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности” [2]. Этот документ устанавливает методику определения категорий помещений и зданий производственного и складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасности в зависимости от количества и пожаровзрывоопасных свойств находящихся (обращающихся) в них веществ и материалов с учетом особенностей технологических процессов размещенных в них производств. Введение нового свода правил решило затруднения с восприятием некоторых положений НПБ 105–03, а также позволило использовать включенные в СП 12.13130.2009 усовершенствованные методики категорирования помещений, зданий и наружных установок по пожарной опасности.

Принципиальными в существующей системе категорирования являются наличие фиксированного числа категорий, разделяющих помещения и здания по степени пожаровзрывоопасности, и назначение защитных мероприятий (например, ограничение площадей отсеков и этажности, назначение пределов огнестойкости, нахождение площадей легкосбрасываемых конструкций и т. д.) главным образом на основе определения категории. В этом случае в одну категорию заведомо попадают помещения и здания, существенно различающиеся по пожаровзрывоопасности. Так, например, к категории А в соответствии с нормами [2] будут отнесены помещения, для которых расчетные избыточные давления взрыва будут составлять в одном случае 5,1 кПа, в другом — 510 кПа, т. е. будут различаться в 100 раз. В то же время защитные мероприятия будут практически одинаковыми и лишь в среднем отвечающимися уровню опасности. В одном случае эти мероприятия могут быть избыточными, в другом — недостаточными. В связи с этим еще в 1992 г. был предложен и необоснованно оставлен без должного внимания принцип “максимального ожидаемого воздействия” [9]. В соответствии с этим принципом в качестве расчетного варианта аварии следует принимать тот вариант, для которого произведение расчетного избыточного давления взрыва, реализующегося в этом варианте, на вероятность реализации имеет максимум. Таким образом, возможно появление альтернативы существующему и нормативно закрепленному принципу “максимальной проектной аварии” — путем изучения вероятностных характеристик возможных аварий избежать дорогостоящих капитальных вложений.

Необходимо заметить, что существующая система категорирования требует дальнейшего совершенствования. Например, выполненные исследования условий образования взрывоопасных смесей при авариях нагретых высококипящих жидкостей [10–14] позволили уточнить категории помещений, пожарную опасность которых определяет присутствие подобных веществ. Изучение условий образования взрывоопасных облаков при авариях топлив-

ных систем автомобилей, работающих на пропан-бутановых смесях, позволило снять многие вопросы при категорировании помещений ремонта и технического обслуживания газобаллонных автомобилей [15–17]. Известно множество технологических процессов, представляющих только взрывную опасность из-за присутствия небольших количеств горючих газов. После взрыва развитие пожара в таких производствах невозможно вследствие отсутствия горючих веществ в жидком или твердом агрегатном состоянии. Однако помещения с такими производствами относятся (в соответствии с действующими нормами) к взрывопожароопасным категории А, а здания должны иметь I или II степень огнестойкости, что экономически нецелесообразно, а с точки зрения последствий взрыва создает дополнительную опасность для людей и сохранности здания. Поэтому желательно исследовать целесообразность разделения взрывопожароопасных помещений категории А на две — взрывоопасных А1 и взрывопожароопасных А2.

Приведенные результаты ретроспективного обзора развития системы категорирования свидетельствуют о непрерывном ее совершенствовании в течение длительного времени. С момента создания системы категорирования и до настоящего времени в нее вносились изменения, более точно отражающие уровень опасности помещений, зданий и наружных установок. Можно полагать, что процесс совершенствования еще далек от завершения.

При расчете категорий помещений необходимо располагать данными о пожаровзрывоопасных свойствах веществ и их смесей, присутствующих в помещениях. В этих случаях авторы рекомендуют обращаться к справочнику [18], в котором приведены данные с оцененной достоверностью для широкого круга веществ.

Данная книга написана для использования в инженерной практике, особенно для тех случаев, когда при установлении категории имеются сомнения или основания для изменения существующей категории.

## 2. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ГОРЮЧИМИ ГАЗАМИ

### 2.1. Общие принципы категорирования

Для помещений с горючими газами избыточное давление взрыва рассчитывается по формулам [2]:

- для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, O, N, Cl, Br, I, F:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_2} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозвушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным в соответствии с требованиями [2], при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса ГГ, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг;

$Z$  — коэффициент участия ГГ в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов в объеме помещения согласно рекомендациям, приведенным в своде правил [2], допускается принимать по табличным данным [2];

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_2$  — плотность газа при расчетной температуре  $t_p$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_{ст}$  — стехиометрическая концентрация ГГ, % об.;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, допускается принимать равным трем;

- для индивидуальных веществ, а также для смесей:

$$\Delta P = \frac{mH_m P_0 Z}{V_{св} \rho_0 C_p T_0} \frac{1}{K_n},$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$\rho_0$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>, допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$T_0$  — начальная температура воздуха, К.

## 2.2. Помещение зарядки аккумуляторных батарей

### Исходные данные

Аккумуляторное помещение (рис. 1) объемом  $V_n = 36$  м<sup>3</sup> предназначено для зарядки аккумуляторных батарей СК-4, состоящих из 12 аккумуляторов, и СК-1, состоящих из 13 аккумуляторов. Максимальная абсолютная температура воздуха в помещении составляет 38 °С.

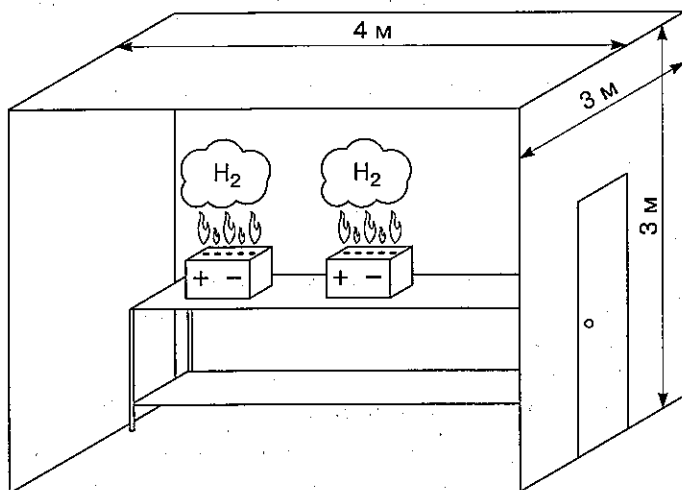


Рис. 1. Схема помещения зарядки аккумуляторных батарей

### Обоснование расчетного варианта аварии

При расчете избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта принимается наиболее неблагоприятный в отношении взрыва период, связанный с формовкой и зарядкой полностью разряженных батарей с напряжением более 2,3 В на элемент и наибольшим значением зарядного тока, превышающим в четыре раза максимальный зарядный ток.

Происходит зарядка одной батареи СК-4 и одной батареи СК-1 с максимальными номинальными емкостями. Продолжительность поступления водорода в помещение соответствует конечному периоду зарядки при обильном газовыделении и полагается равной 1 ч ( $T = 3600$  с).

За расчетную температуру принимается максимальная температура воздуха в помещении зарядки аккумуляторных батарей, которая составляет 38 °С.



Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_2} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме (730 кПа) [18];

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса водорода, выделившегося в помещение, кг;

$Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, для водорода принимаем равным единице;

$V_{св}$  — свободный объем аккумуляторного помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_2$  — плотность водорода при расчетной температуре воздуха, кг·м<sup>-3</sup>;

$C_{ст}$  — стехиометрическая концентрация водорода, % об.;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Для оценки категории помещения необходимо вычислить массу водорода, поступающего в помещение при зарядке аккумуляторных батарей.

Масса водорода, выделившегося в одном элементе при установившемся динамическом равновесии между силой зарядного тока и количеством выделяемого газа, составляет

$$\frac{M}{IT} = \frac{1}{F} \frac{A}{Z} = \frac{1}{9,65 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1}} \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}}{1} =$$

$$= 1,036 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-1},$$

где  $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1}$  — постоянная Фарадея;

$A$  — атомная единица массы водорода, 1 а.е.м =  $1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$ ;

$Z = 1$  — валентность водорода;

$I$  — сила зарядного тока, А;

$T$  — расчетное время зарядки, с.

Плотность водорода определяется по формуле

$$\rho_2 = \frac{M}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{2 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}(1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 38^\circ \text{С})} =$$

$$= 0,0783 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где  $M$  — масса киломоля водорода, равная  $2 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимается равным  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;

$t_p$  — расчетная температура воздуха, °С.

Объем водорода, поступающего в помещение при зарядке нескольких батарей, м<sup>3</sup>, можно определить из выражения

$$V_n = \frac{M / IN}{\rho_z} \cdot 4 [I_1 n_1 + I_2 n_2 + \dots + I_i n_i] \cdot 3600 \text{ с,}$$

где  $I_i$  — максимальный зарядный ток  $i$ -й батареи, А, принимается по ГОСТ 825–73 “Аккумуляторы свинцовые для стационарных установок”;  
 $n_i$  — количество аккумуляторов  $i$ -й батареи.

Объем водорода, поступающего в аккумуляторное помещение при зарядке двух батарей (СК-4 и СК-1), составит

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{M / IN}{\rho_z} \cdot 4 [I_1 n_1 + I_2 n_2] \cdot 3600 \text{ с} = \\ &= \frac{1,036 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}}{0,0783 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \cdot 4 [9 \text{ А} \cdot 13 + 36 \text{ А} \cdot 12] \cdot 3600 \text{ с} = 1,046 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Стехиометрическая концентрация водорода  $C_{cm}$  рассчитывается по формуле

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84\beta},$$

где  $\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания,

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 0 + \frac{2 - 0}{4} - 0 = 0,5,$$

$n_C, n_H, n_O, n_X$  — соответственно число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Таким образом,

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,5} = 29,24 \% \text{ об.}$$

Свободный объем аккумуляторного помещения составит

$$V_{св} = 0,8 V_n = 0,8 \cdot 36 \text{ м}^3 = 28,8 \text{ м}^3.$$

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  водорода в аккумуляторном помещении согласно формуле (1) будет равно

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{cm}} \frac{1}{K_H} = (P_{\max} - P_0) \frac{V_n Z}{V_{св}} \frac{100}{C_{cm}} \frac{1}{K_H} = \\ &= (730 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{1,046 \text{ м}^3 \cdot 1}{28,8 \text{ м}^3} \frac{100}{29,24} \frac{1}{3} = 26,04 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Так как расчетное избыточное давление взрыва более 5 кПа, то аккумуляторное помещение следует относить к категории А.

Рассмотрим возможность снижения категории взрывопожарной опасности помещения за счет устройства аварийной вентиляции, позволяющей уменьшить концентрацию водорода. Рассчитаем кратность аварийной вентиляции, при которой помещение зарядки аккумуляторных батарей не относится к категории А.

Объем водорода, поступающего в аккумуляторное помещение, при расчетном давлении взрыва 4,99 кПа (< 5 кПа) составит

$$V_n^* = \frac{\Delta P V_{св} C_{см} K_n}{(P_{max} - P_0) Z \cdot 100} = \frac{4,99 \text{ кПа} \cdot 28,8 \text{ м}^3 \cdot 29,24 \cdot 3}{(730 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \cdot 1 \cdot 100} = 0,200 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем кратность воздухообмена при поступлении данного количества водорода в аккумуляторное помещение (продолжительность поступления водорода в объем помещения  $T = 3600$  с):

$$\left(\frac{A}{3600 \text{ с}}\right) T + 1 = \frac{V_n}{V_n^*}; \quad A = \frac{V_n}{V_n^*} - 1 = \frac{1,046 \text{ м}^3}{0,200 \text{ м}^3} - 1 = 4,23 \text{ ч}^{-1}.$$

При оборудовании аккумуляторного помещения аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $4,23 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], допускается не относить это помещение к категории А.

Проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 – В4.

Горючую нагрузку в помещении представляют полимеры ( $Q_n = 14,31$  МДж · кг<sup>-1</sup> [17]), из которых выполнены корпуса аккумуляторных батарей ( $m_1 = 20$  кг) и изоляция силовых кабелей ( $m_2 = 50$  кг).

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $g$ . Учитываем, что

$$G_1 = m_1 = 20 \text{ кг}, \quad G_2 = m_2 = 50 \text{ кг},$$

где  $G_1, G_2$  — количество пожарной нагрузки корпусов аккумуляторных батарей и изоляции силовых кабелей соответственно.

Тогда получаем

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{ni}^p = 20 \text{ кг} \cdot 14,31 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} + 50 \text{ кг} \cdot 14,31 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 1002 \text{ МДж}.$$

Площадь размещения пожарной нагрузки составляет  $10 \text{ м}^2$ . В таком случае имеем

$$g = Q/S = 1002 \text{ МДж} / 10 \text{ м}^2 = 100,2 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Удельная пожарная нагрузка менее  $181 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Таким образом, при оборудовании аккумуляторного помещения аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $4,23 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], это помещение относится к категории В4.

### 2.3. Помещение ремонта и технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на природном газе [19]

#### Исходные данные

Пост диагностики автотранспортного предприятия для грузовых автомобилей, работающих на сжатом природном газе (рис. 2). Объем помещения  $V_n = 300 \text{ м}^3$ . Объем баллона со сжатым природным газом  $V = 50 \text{ л} = 0,05 \text{ м}^3$ . Давление в баллоне  $P_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ кПа}$ . Максимальная абсолютная температура воздуха в помещении  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ . Основной компонент сжатого природного газа — метан (98 % об.). Молярная масса метана  $M = 16,04 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

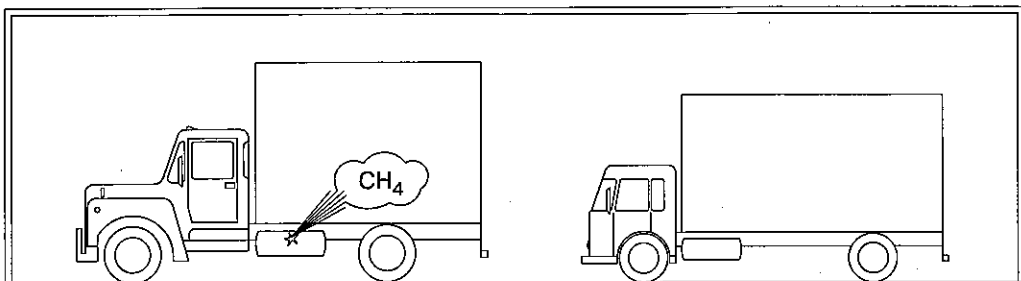


Рис. 2. Схема помещения технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на природном газе

#### Обоснование расчетного варианта аварии

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного баллона со сжатым природным газом и поступление последнего в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в помещении —  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_2} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_H},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозооудшной или парозооудшной смеси в замкнутом объеме ( $706 \text{ кПа}$ ) [18];

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным  $101 \text{ кПа}$ ;

$m$  — масса природного газа, выделившегося в помещение, кг;  
 $Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, для природного газа принимаем равным 0,5;  
 $V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_z$  — плотность природного газа при расчетной температуре воздуха, кг · м<sup>-3</sup>;  
 $C_{ст}$  — стехиометрическая концентрация природного газа, % об.;  
 $K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Определим количество природного газа, поступающего в помещение при расчетной аварии.

Плотность природного газа вычисляется по формуле

$$\rho_z = \frac{M}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{16,04 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}(1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 37^\circ \text{С})} = 0,6301 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где  $M$  — масса киломоля природного газа, равная 16,04 кг · кмоль<sup>-1</sup>;  
 $V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимаем равным 22,413 м<sup>3</sup> · кмоль<sup>-1</sup>;  
 $\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;  
 $t_p$  — расчетная температура воздуха, °С.

Масса поступившего в помещение при расчетной аварии газа, кг, определяется по формуле

$$m = (V_a + V_m) \rho_z,$$

где  $V_a$  — объем газа, вышедшего из аппарата, м<sup>3</sup>;  
 $V_m$  — объем газа, вышедшего из трубопроводов, м<sup>3</sup>, принимаем равным нулю.

При этом

$$V_a = 0,01 P_1 V = 0,01 \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ кПа} \cdot 0,05 \text{ м}^3 = 10 \text{ м}^3,$$

где  $P_1$  — давление в аппарате, кПа;  
 $V$  — объем аппарата, м<sup>3</sup>.

Тогда

$$m = (V_a + V_m) \rho_z = 10 \text{ м}^3 \cdot 0,6301 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 6,301 \text{ кг}.$$

Стехиометрическая концентрация природного газа  $C_{ст}$  рассчитывается по формуле

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta},$$

где  $\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания,

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 1 + \frac{4 - 0}{4} - 0 = 2,$$

$n_C, n_H, n_O, n_X$  — соответственно число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Таким образом,

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36 \% \text{ об.}$$

Свободный объем помещения поста диагностики составит

$$V_{cv} = 0,8 V_n = 0,8 \cdot 300 \text{ м}^3 = 240 \text{ м}^3.$$

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  природного газа в помещении технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на природном газе, согласно формуле (1) будет равно

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{cv} \rho_z} \frac{100}{C_{cm}} \frac{1}{K_H} = \\ &= (706 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{6,301 \text{ кг} \cdot 0,5}{240 \text{ м}^3 \cdot 0,6301 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \frac{100}{9,36} \frac{1}{3} = 44,89 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Так как расчетное избыточное давление взрыва более 5 кПа, то помещение поста диагностики следует относить к категории А.

Рассмотрим возможность снижения категории взрывопожарной опасности помещения за счет устройства аварийной вентиляции, позволяющей уменьшить концентрацию природного газа. Рассчитаем кратность аварийной вентиляции, при которой помещение поста диагностики не относится к категории А.

Объем природного газа, поступающего в помещение, при расчетном давлении взрыва 4,99 кПа (< 5 кПа) составит

$$V_a^* = \frac{\Delta P V_{cv} C_{cm} K_H}{(P_{\max} - P_0) Z \cdot 100} = \frac{4,99 \text{ кПа} \cdot 240 \text{ м}^3 \cdot 9,36 \cdot 3}{(706 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \cdot 0,5 \cdot 100} = 1,112 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем кратность воздухообмена при поступлении данного количества природного газа в помещение поста диагностики (продолжительность поступления газа в объем помещения  $T = 3600$  с):

$$\left( \frac{A}{3600 \text{ с}} \right) T + 1 = \frac{V_a}{V_a^*}; \quad A = \frac{V_a}{V_a^*} - 1 = \frac{10 \text{ м}^3}{1,112 \text{ м}^3} - 1 = 7,99 \text{ ч}^{-1}.$$

При оборудовании помещения технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на природном газе, аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $8 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], допускается не относить помещение поста диагностики к категории А. Для дальнейшего определения принадлежности помещения к категориям В1 – В4 необходимо найти величину удельной пожарной нагрузки.

#### **2.4. Помещение ремонта и технического обслуживания автомобилей с двигателями, работающими на пропан-бутановых смесях**

В работе [15] показано, что направление потока пропан-бутановой смеси оказывает существенное влияние на формирование локального взрывоопасного объема при поступлении газа в закрытое помещение.

Наиболее неблагоприятным вариантом аварии, связанной с утечкой пропан-бутана в закрытом помещении, является случай, когда поток газа направлен вниз с небольшой высоты [16]. При этих условиях пропан-бутан “стелется” по поверхности пола, незначительно смешиваясь с воздухом, что способствует образованию локального взрывоопасного объема даже при небольшой массе газа, поступившей в помещение. И наоборот, наиболее безопасным вариантом аварии является случай, при котором поток пропан-бутана направлен вверх. При этом он активно перемешивается с воздухом и заполняет значительный объем помещения при концентрациях ниже нижнего концентрационного предела воспламенения. Однако такая ситуация будет наблюдаться только в том случае, если масса пропан-бутана, поступившая в помещение, будет меньше определенной критической величины, при превышении которой образуется значительно больший локальный взрывоопасный объем, чем при первом варианте аварии.

В своде правил [2] принят вариант аварии, при котором все содержимое газового баллона одновременно поступает в помещение (полная разгерметизация корпуса баллона). В случае с газобаллонными автомобилями такой вариант маловероятен. Это подтверждает анализ статистических данных по пожарам на газобаллонных автомобилях [17].

Наиболее вероятным вариантом аварии с газобаллонным автомобилем будет случай, когда происходит незначительная утечка пропан-бутана через неплотности в соединениях газового оборудования. Массовая скорость его утечки при этом будет невелика. Направление потока газа при утечке из газового оборудования будет промежуточным между вертикально вверх и вниз. Утечка газа из оборудования с направлением точно вертикально вверх и вниз маловероятна, поэтому процесс формирования локальных взрывоопасных объемов при утечке пропан-бутана из оборудования газобаллонных автомобилей будет сочетать эти механизмы. Степень влияния каждого из рассмотренных механизмов будет зависеть от угла потока газа.

Необходимо отметить, что газовое оборудование легковых газобаллонных автомобилей находится внутри их кузова, поэтому поток газа любого направления при утечке, достигнув стенок кузова автомобиля, будет заполнять его внутреннее пространство (багажник, салон, моторный отсек) и выходить наружу через неплотности кузова. Поскольку пропан-бутан имеет молекулярную массу выше чем воздух, он будет “стелиться” по полу под кузовом автомобиля. Процесс формирования локальных взрывоопасных объемов в случае с легковыми газобаллонными автомобилями будет близок к рассмотренному выше процессу формирования локального взрывоопасного объема при подаче газа вертикально вниз.

Газовые баллоны грузовых газобаллонных автомобилей находятся снаружи кузова. Конструкция большинства из этих баллонов предусматривает установку вокруг запорной арматуры закрываемого крышкой корпуса. Поэтому и в случае с грузовыми газобаллонными автомобилями процесс формирования локального взрывоопасного объема пропан-бутана при его утечке из газового оборудования будет близок к процессу формирования локального взрывоопасного объема при подаче газа вертикально вниз.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- при известном направлении поступления пропан-бутановой смеси в закрытые помещения расчет коэффициента участия газа во взрыве целесообразно проводить с учетом рекомендаций работы [15], а также по методике интегрирования локального взрывоопасного объема;
- наиболее вероятным вариантом развития аварии в помещениях с газобаллонными автомобилями является случай, при котором будет происходить поступление пропан-бутана с незначительной массовой скоростью по направлению вниз;
- для приближенных расчетов избыточного давления взрыва пропан-бутана в помещениях с газобаллонными автомобилями целесообразно использовать значение коэффициента участия  $Z = 0,3$ ;
- в качестве компенсирующего мероприятия, снижающего вероятность образования взрывоопасных концентраций пропан-бутана при его утечке в закрытых автостоянках с газобаллонными автомобилями, рекомендуется замена кирпичных перегородок на перегородки из воздухопроницаемых конструкций с целью увеличения свободного объема помещения;
- для помещений с газобаллонными автомобилями целесообразно установить категорию В по взрывопожарной и пожарной опасности по аналогии с помещениями с автомобилями, работающими на бензине, при условии выполнения компенсирующих мероприятий.



## 2.5. Цех получения кремния [19]

## Исходные данные

Наращивание поликристалла кремния осуществляется в цехе получения кремния (рис. 3) методом восстановления тетрахлорида кремния в атмосфере водорода на двух установках с давлением в их реакторах  $P_1 = 200$  кПа. Водород подается к установкам от коллектора, расположенного за пределами помещения, по трубопроводу из нержавеющей стали диаметром  $d = 0,02$  м (радиусом  $r = 0,01$  м) под давлением  $P_2 = 300$  кПа. Суммарная длина трубопровода от автоматической задвижки с электроприводом, расположенной за пределами участка, до установок составляет  $L_1 = 15$  м. Объем реактора  $V = 0,09$  м<sup>3</sup>. Температура раскаленных поверхностей реактора  $t = 1200$  °С. Время автоматического отключения по паспортным данным  $T_a = 3$  с. Расход газа в трубопроводе  $q = 0,06$  м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>. Размеры помещения  $L \times S \times H = 15,81 \times 15,81 \times 6$  м. Объем помещения  $V_n = 1500$  м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 1500 = 1200$  м<sup>3</sup>. Площадь помещения  $F = 250$  м<sup>2</sup>. Молярная масса водорода  $M = 2$  кг · кмоль<sup>-1</sup>. Нижний концентрационный предел распространения пламени водорода  $C_{НКПР} = 4,1$  % об. Стехиометрическая концентрация водорода  $C_{ст} = 29,24$  % об. Тетрахлорид кремния — негорючее вещество. Образующиеся в результате химической реакции вещества — негорючие.

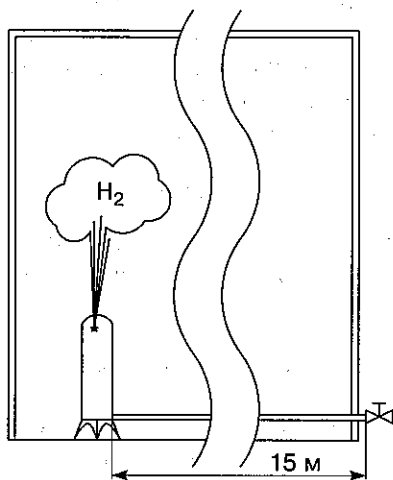


Рис. 3. Схема цеха получения кремния

## Обоснование расчетного варианта аварии

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного реактора и выход из него и подводящего трубопровода водорода в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в помещении  $t_p = 41$  °С.

Рассчитаем количество водорода, поступающего в помещение при разгерметизации реактора.

Плотность водорода определяется по формуле

$$\rho_2 = \frac{M}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{2 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}(1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 41^\circ \text{С})} = 0,0776 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где  $M$  — масса киломоля водорода, равная  $2 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимается равным  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;

$t_p$  — расчетная температура воздуха, °С.

Масса поступившего в помещение при расчетной аварии газа, кг, определяется по формуле

$$m = (V_a + V_m) \rho_z,$$

где  $V_a$  — объем газа, вышедшего из аппарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_m$  — объем газа, вышедшего из трубопровода,  $\text{м}^3$ .

При этом

$$V_a = 0,01 P_1 V = 0,01 \cdot 200 \text{ кПа} \cdot 0,09 \text{ м}^3 = 0,18 \text{ м}^3,$$

где  $P_1$  — давление в аппарате, кПа;

$V$  — объем аппарата,  $\text{м}^3$ ;

$$V_m = V_{1m} + V_{2m},$$

где  $V_{1m}$  — объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2m}$  — объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения,  $\text{м}^3$ ;

$$V_{1m} = qT = 0,06 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} \cdot 120 \text{ с} = 7,2 \text{ м}^3,$$

где  $q = 0,06 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  — расход газа;

$T = 120 \text{ с}$  — расчетное время отключения трубопровода [2];

$$V_{2m} = 0,01 \pi P_2 L r^2 = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 300 \text{ кПа} \cdot 15 \text{ м} \cdot (0,01 \text{ м})^2 = 0,014 \text{ м}^3,$$

где  $P_2 = 300 \text{ кПа}$  — максимальное давление в трубопроводе;

$r = 0,01 \text{ м}$  — внутренний радиус трубопровода;

$L = 15 \text{ м}$  — длина трубопровода от аварийного аппарата до задвижки.

Тогда

$$V_m = 7,2 \text{ м}^3 + 0,014 \text{ м}^3 = 7,214 \text{ м}^3.$$

Таким образом,

$$m = (V_a + V_m) \rho_z = (0,18 \text{ м}^3 + 7,214 \text{ м}^3) \cdot 0,0776 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 0,574 \text{ кг}.$$

Определение коэффициента участия водорода во взрыве  $Z$  проводим в соответствии с рекомендациями [2].

Средняя концентрация водорода в помещении  $C_{cp}$  составит

$$C_{cp} = \frac{100m}{\rho_z V_{св}} = \frac{100 \cdot 0,574 \text{ кг}}{0,0776 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 1200 \text{ м}^3} = 0,62 \% \text{ об.}$$

Имеем  $C_{cp} = 0,62 \%$  об.  $< 0,5 \cdot C_{НКПР} = 0,5 \cdot 4,1 = 2,05 \%$  об. Следовательно, можно определить значение коэффициента участия водорода во взрыве  $Z$  расчетным методом.

Находим значение  $C_0$  — предэкспоненциального множителя при отсутствии подвижности воздушной среды для горючих газов:

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{m}{\rho_z V_{св}} = 3,77 \cdot 10^3 \frac{0,574 \text{ кг}}{0,0776 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 1200 \text{ м}^3} = 23,24 \%$$
 об.

Рассчитываем  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$ ,  $Z_{НКПР}$  — расстояния по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  от источника поступления газа, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени соответственно:

$$X_{НКПР} = Y_{НКПР} = K_1 L \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} =$$

$$= 1,1314 \cdot 15,81 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 23,24}{4,1} \right)^{0,5} = 25,65 \text{ м};$$

$$Z_{НКПР} = K_3 H \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} =$$

$$= 0,0253 \cdot 6 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,38 \cdot 23,24}{4,1} \right)^{0,5} = 0,218 \text{ м},$$

где  $K_1$  — коэффициент, для горючих газов принимаемый равным 1,1314;  
 $K_2$  — коэффициент, для горючих газов принимаемый равным 1;  
 $K_3$  — коэффициент, для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды принимаемый равным 0,0253;  
 $\delta = 1,38$  — допустимое отклонение концентрации при задаваемом уровне значимости  $Q(C > \bar{C})$ , определяется по табличным данным [2].

Так как  $X_{НКПР} > \frac{1}{2} L$  и  $Y_{НКПР} > \frac{1}{2} S$ , значение коэффициента  $Z$  определяем по формуле [2]

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m} \rho_z \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) F Z_{НКПР} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,574 \text{ кг}} \cdot 0,0776 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \left( 23,24 + \frac{4,1}{1,38} \right) \cdot 250 \text{ м}^2 \cdot 0,218 \text{ м} = 0,97.$$

Избыточное давление взрыва водорода в цехе получения кремния согласно формуле (1) будет равно

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n} = \\ &= (730 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{0,574 \text{ кг} \cdot 0,97}{1200 \text{ м}^3 \cdot 0,0776 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \frac{100}{29,24} \frac{1}{3} = 4,29 \text{ кПа}, \end{aligned}$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме (730 кПа) [18];

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;  
 $K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Расчетное избыточное давление взрыва менее 5 кПа, следовательно помещение участка наращивания кремния не относится к категории А.

## 3. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИМИСЯ ЖИДКОСТЯМИ

### 3.1. Общие принципы категорирования

Для помещений с легко воспламеняющимися жидкостями избыточное давление взрыва рассчитывается по формулам свода правил [2]:

- для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, O, N, Cl, Br, I, F:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_n} \frac{100}{C_{\text{ст}}} \frac{1}{K_n},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным, при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;  
 $m$  — масса паров ЛВЖ, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг;

$Z$  — коэффициент участия паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения паров в объеме помещения согласно рекомендациям [2], допускается принимать по табличным данным [2];

$V_{\text{св}}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  — плотность пара при расчетной температуре  $t_p$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_{\text{ст}}$  — стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % об.;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, допускается принимать равным трем;

- для индивидуальных веществ, а также для смесей:

$$\Delta P = \frac{mH_m P_0 Z}{V_{\text{св}} \rho_e C_p T_0} \frac{1}{K_n},$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$\rho_e$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>, допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$T_0$  — начальная температура воздуха, К.

Масса паров жидкости  $m$ , кг, поступивших в помещение при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесенным составом, открытые емкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{\text{емк}} + m_{\text{св.окр}}, \quad (7)$$

где  $m_p$  — масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{\text{емк}}$  — масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг;

$m_{\text{св.окр}}$  — масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг.

При этом каждое из слагаемых определяется по формуле

$$m = W F_u T, \quad (8)$$

где  $W$  — интенсивность испарения, кг · с<sup>-1</sup> · м<sup>-2</sup>;

$F_u$  — площадь испарения, определяемая в соответствии с рекомендациями [2] в зависимости от массы жидкости  $m_u$ , вышедшей в помещение, м<sup>2</sup>.

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распыленном состоянии, то это должно быть учтено в формуле (7) введением дополнительного слагаемого, учитывающего общую массу поступившей жидкости от распыляющих устройств исходя из продолжительности их работы.

Интенсивность испарения  $W$  определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше расчетной температуры (окружающей среды) ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_u, \quad (9)$$

где  $\eta$  — коэффициент, принимаемый по рекомендациям [2] в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$P_u$  — давление насыщенного пара, кПа, при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяемое по справочным данным.

### 3.2. Склад ацетона [19]

#### Исходные данные

В помещении складирования (рис. 4) хранятся десять бочек с ацетоном, каждая объемом  $V_a = 80$  л = 0,08 м<sup>3</sup>. Размеры помещения  $L \times S \times H = 12 \times 6 \times 6$  м. Объем помещения  $V_n = 432$  м<sup>3</sup>. Свободный объем помещения  $V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 432 = 345,6$  м<sup>3</sup>. Площадь помещения  $F = 72$  м<sup>2</sup>.

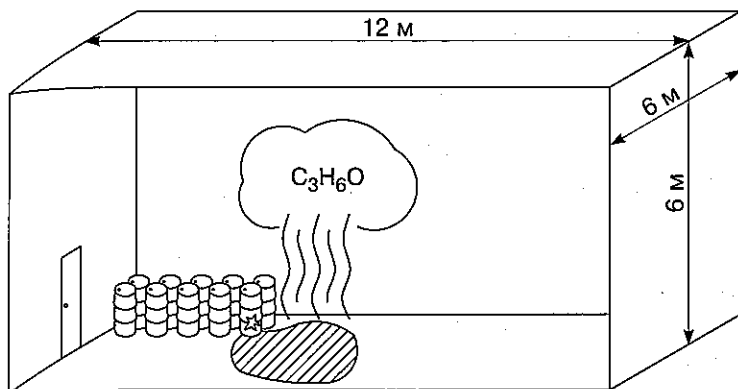


Рис. 4. Схема помещения складирования ацетона

Молярная масса ацетона  $M = 58,08 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 6,37551$ ;  $B = 1281,721$ ;  $C_A = 237,088$ . Химическая формула ацетона —  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ . Плотность ацетона (жидкости)  $\rho_{\text{ж}} = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура вспышки ацетона  $t_{\text{всп}} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Низшая теплота сгорания ацетона  $Q_{\text{н}}^p = 31,360 \text{ МДж/кг}$ .

#### Обоснование расчетного варианта аварии

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одной бочки и разлив ацетона по полу помещения, исходя из расчета, что 1 л ацетона разливается на  $1 \text{ м}^2$  пола. За расчетную температуру принимается максимальная температура воздуха в помещении  $t_p = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле (1)

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_n} \frac{100}{C_{\text{ст}}} \frac{1}{K_n},$$

где  $P_{\text{max}}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме (572 кПа) [18];

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса ацетона, выделившегося в помещение, кг;

$Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, для ацетона принимаем равным 0,3;

$V_{\text{св}}$  — свободный объем складского помещения,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_n$  — плотность ацетона при расчетной температуре воздуха,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$C_{\text{ст}}$  — стехиометрическая концентрация ацетона, % об.;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Рассчитаем количество ацетона, поступающего в помещение при разгерметизации емкости.

Плотность ацетона определяется по формуле

$$\rho_n = \frac{M}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{58 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1} (1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 32 \text{ }^\circ\text{С})} = 2,3158 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где  $M$  — масса киломоля ацетона, равная  $58 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимается равным  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;

$t_p$  — расчетная температура воздуха,  $^\circ\text{С}$ .

Масса паров, поступивших в помещение при испарении разлитой жидкости, определяется по формуле

$$m = W F_u T,$$

где  $W$  — интенсивность испарения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_u$  — площадь испарения,  $\text{м}^2$ ;

$T = 3600 \text{ с}$  — расчетное время испарения жидкости.

Интенсивность испарения  $W$  рассчитывается по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n,$$

где  $\eta = 1$  — коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$P_n$  — давление насыщенного пара, кПа, при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяется из уравнения Антуана:

$$\lg P_n = A - \left( \frac{B}{C_A + t_p} \right) = 6,37551 - \left( \frac{1281,721}{237,088 + 32} \right) = 1,612306;$$

$$P_n = 10^{1,612306} = 40,95 \text{ кПа}.$$

Тогда

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58} \cdot 40,95 = 3,1187 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Расчетная площадь разлива содержимого одной бочки ацетона составляет

$$F_u = 1,0 V_a = 1,0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь помещения  $F = 72 \text{ м}^2$  меньше рассчитанной площади разлива ацетона  $F_u = 80 \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем  $F_u = F = 72 \text{ м}^2$ .



Подставляя полученные значения, находим массу паров, поступивших в помещение при испарении разлитой жидкости:

$$m = W F_u T = 3,1187 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 71 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с} = 80,84 \text{ кг}.$$

Масса разлившегося ацетона составляет

$$m_n = V_a \rho_{ж} = 0,08 \text{ м}^3 \cdot 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 63,264 \text{ кг}.$$

При расчетной аварийной ситуации испаряется вся масса разлившегося из бочки ацетона, т. е.  $m = m_n = 63,264 \text{ кг}$ .

Находим объем испарившегося ацетона:

$$V_n = \frac{m_n}{\rho_n} = \frac{63,264 \text{ кг}}{2,3158 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} = 27,318 \text{ м}^3.$$

Стехиометрическая концентрация ацетона  $C_{cm}$  рассчитывается по формуле

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84\beta},$$

где  $\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания,

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - 0,5 = 4,$$

$n_C, n_H, n_O, n_X$  — соответственно число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Таким образом

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \% \text{ об}.$$

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  ацетона в помещении согласно формуле (1) будет равно

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_n} \frac{100}{C_{cm}} \frac{1}{K_n} = \\ &= (572 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{63,264 \text{ кг} \cdot 0,3}{345,6 \text{ м}^3 \cdot 2,3158 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \frac{100}{4,91} \frac{1}{3} = 75,83 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно помещение складирования ацетона относится к категории А.

Рассмотрим возможность снижения категории взрывопожарной опасности помещения за счет устройства аварийной вентиляции, позволяющей уменьшить концентрацию ацетона. Рассчитаем кратность аварийной вентиляции, при которой складское помещение не относится к категории А.

Определим объем ацетона, поступающего в помещение, при расчетном давлении взрыва 4,99 кПа (< 5 кПа):

$$V_a^* = \frac{\Delta P V_{ca} C_{cm} K_H}{(P_{\max} - P_0) Z \cdot 100} = \frac{4,99 \text{ кПа} \cdot 345,6 \text{ м}^3 \cdot 4,91 \cdot 3}{(572 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \cdot 0,3 \cdot 100} = 1,798 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем кратность воздухообмена при поступлении данного количества ацетона в складское помещение (продолжительность поступления  $T = 3600$  с):

$$\left( \frac{A}{3600 \text{ с}} \right) T + 1 = \frac{V_n}{V_a^*}; \quad A = \frac{V_n}{V_a^*} - 1 = \frac{27,318 \text{ м}^3}{1,798 \text{ м}^3} - 1 = 14,19 \text{ ч}^{-1}.$$

При оборудовании помещения складирования ацетона аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $14,2 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], допускается не относить складское помещение к категориям А и Б.

Проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 – В4. Так как при разгерметизации емкости испаряется вся масса разлившегося ацетона, интенсивность испарения в связи с увеличением скорости воздушного потока не пересчитывается.

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  по формуле (5)

$$Q = 10m \cdot Q_n^p = 10 \cdot 63,264 \text{ кг} \cdot 31,360 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 19839,59 \text{ МДж}.$$

Поскольку площадь помещения  $F = 72 \text{ м}^2$  меньше площади разлива ацетона  $F_u = 80 \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем площадь размещения пожарной нагрузки  $S = F = 72 \text{ м}^2$ .

Найдем удельную пожарную нагрузку  $g$  по формуле (6)

$$g = Q/S = 19839,59 \text{ МДж} / 72 \text{ м}^2 = 275,6 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Величина удельной пожарной нагрузки более 181, но менее  $1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . При оборудовании помещения складирования ацетона аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $14,2 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], это помещение будет относиться к категории В3 [2].

### 3.3. Помещение хранения топлива для резервной дизельной установки [19]

#### Исходные данные

Помещение промежуточного топливного бака резервной дизельной электростанции унифицированной компоновки (рис. 5). В помещении находится топливный бак с дизельным топливом марки “З” (ГОСТ 305–82) объемом  $V_a = 6,3 \text{ м}^3$ . Размеры помещения  $L \times S \times H = 4,0 \times 4,0 \times 3,6 \text{ м}$ . Объем помещения  $V_n = 57,6 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{ca} = 0,8 \cdot 57,6 = 46,08 \text{ м}^3$ .

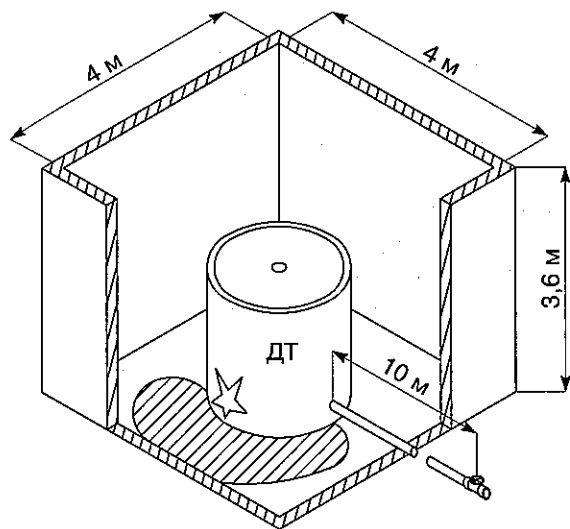


Рис. 5. Схема помещения хранения топлива для резервной дизельной установки

Площадь помещения  $F = 16 \text{ м}^2$ . Суммарная длина трубопровода диаметром  $d_1 = 57 \text{ мм} = 0,057 \text{ м}$  ( $r_1 = 0,0285 \text{ м}$ ), ограниченная задвижкой (ручной), установленной на отводящем участке трубопровода, составляет  $L_1 = 10 \text{ м}$ . Расход дизельного топлива в трубопроводе  $q = 0 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} = 0 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Молярная масса дизельного топлива марки "3"  $M = 172,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Брутто-формула —  $\text{C}_{12,343}\text{H}_{23,889}$ . Плотность жидкости при температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho_{жс} = 804 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Константы уравнения Антуана:  $A = 5,07828$ ;  $B = 1255,73$ ;  $C_A = 199,523$ . Температура вспышки  $t_{всп} > 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплота сгорания  $H_m = Q_n^p = 4,359 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,59 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Нижний концентрационный предел распространения пламени  $C_{НКПР} = 0,6 \text{ \% об.}$

#### Обоснование расчетного варианта аварии

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация топливного бака и выход из него и подводящих и отводящих трубопроводов дизельного топлива в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в помещении  $t_p = 41 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозооной или парозооной смеси в замкнутом объеме, кПа;

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса дизельного топлива, выделившегося в помещение, кг;  
 $Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении;  
 $V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_2$  — плотность дизельного топлива при расчетной температуре воздуха, кг · м<sup>-3</sup>;  
 $C_{см}$  — стехиометрическая концентрация дизельного топлива, % об.;  
 $K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Проведем расчет количества дизельного топлива, поступающего в помещение при разгерметизации емкости.

Плотность паров дизельного топлива определяется по формуле

$$\rho_2 = \frac{M}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{172,0 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1} (1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 41 \text{ }^\circ\text{C})} = 6,670 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где  $M$  — масса киломоля дизельного топлива, равная 172,0 кг · кмоль<sup>-1</sup>;  
 $V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимается равным 22,413 м<sup>3</sup> · кмоль<sup>-1</sup>;  
 $\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;  
 $t_p$  — расчетная температура воздуха, °С.

Объем поступившей в помещение при расчетной аварии жидкости, м<sup>3</sup>, определяется по формуле

$$V_{ж} = V_a + V_m,$$

где  $V_a = 6,3 \text{ м}^3$  — объем дизельного топлива, вышедшего из емкости;  
 $V_m$  — объем дизельного топлива, вышедшего из трубопровода, м<sup>3</sup>,

$$V_m = V_{1m} + V_{2m},$$

где  $V_{1m}$  — объем дизельного топлива, вышедшего из трубопровода до его отключения, м<sup>3</sup>;  
 $V_{2m}$  — объем дизельного топлива, вышедшего из трубопровода после его отключения, м<sup>3</sup>;

$$V_{1m} = qT = 0 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} \cdot 300 \text{ с} = 0 \text{ м}^3;$$

$$V_{2m} = \pi L r^2 = 3,14 \cdot 10 \text{ м} \cdot (0,0285 \text{ м})^2 = 0,0255 \text{ м}^3,$$

где  $T = 300 \text{ с}$  — расчетное время отключения трубопровода [2];  
 $r = 0,0285 \text{ м}$  — внутренний радиус трубопровода;  
 $L = 10 \text{ м}$  — длина трубопровода от аварийной емкости до задвижки.

Тогда

$$V_m = 0 \text{ м}^3 + 0,0255 \text{ м}^3 = 0,0255 \text{ м}^3;$$

$$V_{ж} = V_a + V_m = 6,3 \text{ м}^3 + 0,0255 \text{ м}^3 = 6,3255 \text{ м}^3 = 6325,5 \text{ л.}$$

Масса паров, поступивших в помещение при испарении разлитой жидкости, определяется по формуле

$$m = WF_u T,$$

где  $W$  — интенсивность испарения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_u$  — площадь испарения,  $\text{м}^2$ ;

$T = 3600 \text{ с}$  — расчетное время испарения жидкости.

Интенсивность испарения  $W$  рассчитывается по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_u,$$

где  $\eta = 1$  — коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$P_u$  — давление насыщенного пара, кПа, при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяется из уравнения Антуана:

$$\lg P_u = A - \left( \frac{B}{C_A + t_p} \right) = 5,07828 - \left( \frac{1255,73}{199,523 + 41} \right) = -0,14255;$$

$$P_u = 10^{-0,14255} = 0,72 \text{ кПа.}$$

Тогда

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_u = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{172,0} \cdot 0,72 = 9,44 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Расчетная площадь разлива содержимого емкости дизельного топлива составляет

$$F_u = 1,0 V_a = 1,0 \cdot 6325,5 = 6325,5 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь помещения  $F = 16 \text{ м}^2$  меньше рассчитанной площади разлива дизельного топлива  $F_u = 6325,5 \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем  $F_u = F = 16 \text{ м}^2$ .

Подставляя полученные значения, находим массу паров, поступивших в помещение при испарении разлитой жидкости:

$$m = WF_u T = 9,44 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 16 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с} = 0,5437 \text{ кг.}$$

Определение коэффициента участия паров дизельного топлива во взрыве  $Z$  проводим в соответствии с рекомендациями [2].

Средняя концентрация дизельного топлива в помещении  $C_{cp}$  составит

$$C_{cp} = \frac{100m}{\rho_z V_{св}} = \frac{100 \cdot 0,5437 \text{ кг}}{6,670 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 46,08 \text{ м}^3} = 0,18 \% \text{ об.}$$

Таким образом,  $C_{cp} = 0,18 \% \text{ об.} < 0,5 C_{НКПР} = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \% \text{ об.}$  Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров дизельного топлива во взрыве  $Z$  расчетным методом.

Находим значение  $C_n$  — концентрации насыщенных паров,  $\% \text{ об.}$ , при расчетной температуре  $t_p$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , воздуха в помещении по формуле

$$C_n = 100 \frac{P_n}{P_0} = 100 \frac{0,72 \text{ кПа}}{101 \text{ кПа}} = 0,71 \% \text{ об.}$$

Стехиометрическая концентрация паров дизельного топлива  $C_{ст}$ , исходя из его химической брутто-формулы, рассчитывается по формуле [2]

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \beta},$$

где  $\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания,

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 12,343 + \frac{23,889 - 0}{4} - 0 = 18,32,$$

$n_C, n_H, n_O, n_X$  — соответственно число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Тогда получаем

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 18,32} = 1,12 \% \text{ об.}$$

Значение параметра  $C^*$  будет равно

$$C^* = \varphi C_{ст} = 1,9 \cdot 1,12 = 2,13 \% \text{ об.},$$

где  $\varphi = 1,9$  — эффективный коэффициент избытка горючего.

Поскольку  $C_n = 0,71 \% \text{ об.} < C^* = 2,13 \% \text{ об.}$ , то рассчитываем значение параметра  $X$ :

$$X = C_n / C^* = 0,71 / 2,13 = 0,33.$$

Согласно номограмме, приведенной в [2], при значении  $X = 0,33$  определяем коэффициент участия паров дизельного топлива во взрыве —  $Z = 0$ .

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  паров дизельного топлива будет равно

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_H} = (P_{\max} - P_0) \frac{m \cdot 0}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_H} = 0 \text{ кПа.}$$

Расчетное избыточное давление взрыва менее 5 кПа, следовательно помещение хранения топлива для резервной дизельной установки не относится к категориям А и Б.

Проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 – В4.

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $g$ :

$$Q = G Q_n^p = 5086 \text{ кг} \cdot 43,59 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 221699 \text{ МДж};$$

$$g = Q/S = 221699 \text{ МДж}/16 \text{ м}^2 = 13856 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2},$$

где  $G$  — количество пожарной нагрузки дизельного топлива, кг,

$$G = V_{ж} \rho_{ж} = 6,3255 \text{ м}^3 \cdot 804 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 5086 \text{ кг}.$$

Поскольку площадь помещения  $F = 16 \text{ м}^2$  меньше рассчитанной площади разлива дизельного топлива  $F_n = 6325,5 \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем площадь размещения пожарной нагрузки  $S = F = 16 \text{ м}^2$ .

Удельная пожарная нагрузка более  $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Помещение хранения топлива для резервной дизельной установки относится к категории В1 [2].

### 3.4. Помещение сушильно-пропиточного отделения [19]

#### Исходные данные

Помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха (рис. 6). В помещении находится два бака для покрытия лаком БТ-99 полюсных катушек способом окунания с подводными и отводящими трубопроводами. Размеры помещения  $L \times S \times H = 32 \times 10 \times 8 \text{ м}$ . Объем помещения  $V_n = 2560 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 2560 = 2048 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 320 \text{ м}^2$ . Объем каждого бака  $V_{ан} = 0,5 \text{ м}^3$ . Степень заполнения бака лаком  $\varepsilon = 0,9$ . Объем лака в баке  $V_a = \varepsilon V_{ан} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45 \text{ м}^3$ . Длина и диаметр подводного (напорного) трубопровода между баком и насосом  $L_1 = 10 \text{ м}$  и  $d_1 = 25 \text{ мм} = 0,025 \text{ м}$  соответственно. Длина и диаметр отводящего трубопровода между задвижкой и баком  $L_2 = 10 \text{ м}$  и  $d_2 = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$  соответственно.

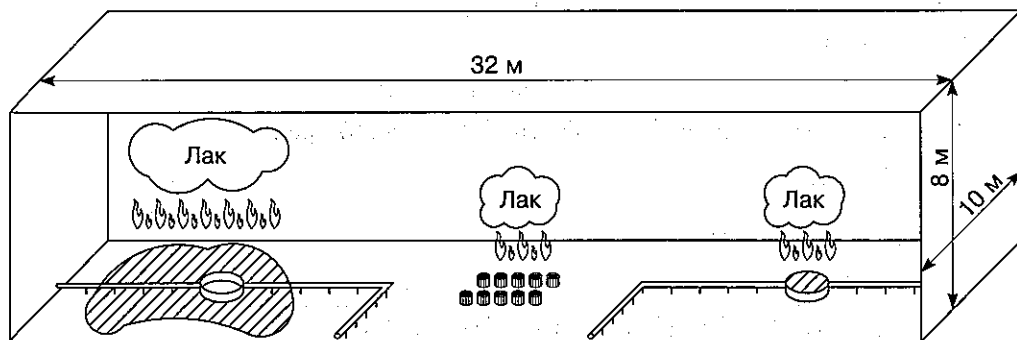


Рис. 6. Схема помещения сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха

Производительность насоса  $q = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Время отключения насоса  $T_a = 300 \text{ с}$ . В каждый бак попеременно загружается и выгружается одновременно по 10 штук полюсных катушек, размещаемых в корзине. Открытое зеркало испарения каждого бака  $F_{\text{емк}} = 1,54 \text{ м}^2$ . Общая поверхность 10 свежескрашенных полюсных катушек  $F_{\text{св.окр}} = 6,28 \text{ м}^2$ .

В лаке БТ-99 (согласно ГОСТ 8017-74) в качестве растворителей содержится 46 % масс. ксилола и 2 % масс. уайт-спирита. В общей массе растворителей содержится  $\varphi_1 = 95,83 \%$  масс. ксилола и  $\varphi_2 = 4,17 \%$  масс. уайт-спирита. Плотность лака БТ-99  $\rho_{\text{ж}} = 953 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Молярная масса  $M$  ксилола равна  $106,17 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ , уайт-спирита —  $147,3 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ . Химическая формула ксилола  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ , уайт-спирита —  $\text{C}_{10,5}\text{H}_{21,0}$ . Плотность жидкости  $\rho_{\text{ж}}$  ксилола равна  $855 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , уайт-спирита —  $760 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура вспышки  $t_{\text{всп}}$  ксилола равна  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ , уайт-спирита —  $33 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нижний концентрационный предел распространения пламени  $S_{\text{НКПР}}$  ксилола составляет 1,1 % об., уайт-спирита — 0,7 % об. Теплота сгорания  $H_m = Q_n^p$  ксилола равна  $43154 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,15 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , уайт-спирита —  $43966 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 43,97 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Константы уравнения Антуана: для ксилола  $A = 6,17972$ ,  $B = 1478,16$  и  $C_A = 220,535$ ; для уайт-спирита —  $A = 7,13623$ ,  $B = 2218,3$  и  $C_A = 273,15$ .

#### Обоснование расчетного варианта аварии

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного бака с лаком для покрытия полюсных катушек способом окунания и утечка лака из напорного и отводящего трубопроводов при работающем насосе с последующим разливом лака на пол помещения. Происходит испарение ксилола и уайт-спирита с поверхности разлившегося лака, а также с открытой поверхности второго бака и поверхности выгружаемых покрытых лаком полюсных катушек (10 штук). За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в помещении  $t_p = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Произведем расчет количества растворителей, поступающих в помещение при разгерметизации емкости.

Плотность паров определяется по формуле

- для ксилола

$$\rho_e = \frac{M_1}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{106 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1} (1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 37 \text{ }^\circ\text{C})} = 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

- для уайт-спирита

$$\rho_e = \frac{M_2}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{147 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1} (1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 37 \text{ }^\circ\text{C})} = 5,775 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$



где  $M_1$  — масса киломоля ксилола, равная  $106 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  
 $M_2$  — масса киломоля уайт-спирита, равная  $147 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  
 $V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимается равным  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  
 $\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;  
 $t_p$  — расчетная температура воздуха, °С.  
 Объем поступившей в помещение при расчетной аварии жидкости,  $\text{м}^3$ , определяется по формуле

$$V_{\text{ж}} = V_a + V_m,$$

где  $V_a = 0,45 \text{ м}^3$  — объем лака в аварийной емкости;  
 $V_m$  — объем лака, вышедшего из трубопровода,  $\text{м}^3$ ;

$$V_m = V_{1m} + V_{2m},$$

где  $V_{1m}$  — объем лака, вышедшего из трубопровода до его отключения,  $\text{м}^3$ ;  
 $V_{2m}$  — объем лака, вышедшего из трубопровода после его отключения,  $\text{м}^3$ ;

$$V_{1m} = qT = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1} \cdot 300 \text{ с} = 0,0195 \text{ м}^3;$$

$$V_{2m} = \pi(L_1 r_1^2 + L_2 r_2^2) = \\ = 3,14 \cdot (10 \text{ м} \cdot 0,00015625 \text{ м}^2 + 10 \text{ м} \cdot 0,0004 \text{ м}^2) = 0,0175 \text{ м}^3,$$

где  $T = 300 \text{ с}$  — расчетное время отключения трубопровода [2];  
 $r_1 = 0,0125 \text{ м}$  — внутренний радиус подводящего трубопровода;  
 $L_1 = 10 \text{ м}$  — длина подводящего трубопровода от аварийной емкости до насоса;  
 $r_2 = 0,02 \text{ м}$  — внутренний радиус отводящего трубопровода;  
 $L_2 = 10 \text{ м}$  — длина отводящего трубопровода от аварийной емкости до задвижки.

Тогда

$$V_m = 0,0195 \text{ м}^3 + 0,0175 \text{ м}^3 = 0,037 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ж}} = V_a + V_m = 0,45 \text{ м}^3 + 0,037 \text{ м}^3 = 0,487 \text{ м}^3 = 487 \text{ л}.$$

Масса паров, поступивших в помещение при испарении разлитой жидкости, определяется по формуле

$$m = W F_u T,$$

где  $W$  — интенсивность испарения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  
 $F_u$  — площадь испарения,  $\text{м}^2$ ;  
 $T = 3600 \text{ с}$  — расчетное время испарения жидкости.

Определим площадь испарения  $F_u$ . Так как в лаке БТ-99 (ГОСТ 8017-74) содержится менее 70 % масс. растворителей, 1 л лака разливается на площади  $0,5 \text{ м}^2$  [2]. Находим площадь разлива по формуле

$$F_p = 0,5 V_{\text{ж}} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{л}^{-1} \cdot 487 \text{ л} = 243,5 \text{ м}^2;$$

$$F_u = F_p + F_{\text{емк}} + F_{\text{св.окр}} = 243,5 \text{ м}^2 + 1,54 \text{ м}^2 + 6,28 \text{ м}^2 = 251,3 \text{ м}^2.$$

Интенсивность испарения  $W$  рассчитывается по формуле [2]

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n,$$

где  $\eta = 1$  — коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$P_n$  — давление насыщенного пара, кПа, при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяется из уравнения Антуана:

- для ксилола

$$\lg P_n = A - \left( \frac{B}{C_A + t_p} \right) = 6,17972 - \left( \frac{1478,16}{220,535 + 37} \right) = 0,44007;$$

$$P_n = 10^{0,44007} = 2,75 \text{ кПа}.$$

- для уайт-спирита

$$\lg P_n = A - \left( \frac{B}{C_A + t_p} \right) = 7,13623 - \left( \frac{2218,3}{273,15 + 37} \right) = -0,01612;$$

$$P_n = 10^{-0,01612} = 0,96 \text{ кПа}.$$

Тогда интенсивность испарения растворителя составит:

- для ксилола

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{106} \cdot 2,75 = 28,31 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2};$$

- для уайт-спирита

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{147} \cdot 0,96 = 11,64 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с [2] находим массу паров по наиболее опасному компоненту — ксилолу:

$$m = W F_u T = 28,31 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 251,3 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с} = 25,611 \text{ кг}.$$

Определим коэффициент участия паров растворителя во взрыве  $Z$ . Значения расчетных параметров принимаются либо по ксилолу, либо по уайт-спириту, исходя из наиболее неблагоприятных последствий взрыва.

Средняя концентрация паров растворителя в помещении  $C_{cp}$  вычислим по формуле

$$C_{cp} = \frac{100m}{\rho_z V_{св}} = \frac{100 \cdot 25,611 \text{ кг}}{4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 2048 \text{ м}^3} = 0,30 \% \text{ об.}$$

Таким образом,  $C_{cp} = 0,30 \% \text{ об.} < 0,5 C_{НКПР} = 0,5 \cdot 1,1 = 0,55 \% \text{ об.}$  Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве  $Z$  расчетным методом.

Находим значение  $C_n$  — концентрации насыщенных паров, % об., при расчетной температуре  $t_p$ , °С, воздуха в помещении по формуле [2]

$$C_n = 100 \frac{P_n}{P_0} = 100 \frac{2,75 \text{ кПа}}{101 \text{ кПа}} = 2,72 \% \text{ об.}$$

Находим значение  $C_0$  — предэкспоненциального множителя при отсутствии подвижности воздушной среды для ЛВЖ [2]:

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \rho_z V_{св}} \right)^{0,41} = 2,72 \left( \frac{25,611 \text{ кг} \cdot 100}{2,72 \cdot 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 2048 \text{ м}^3} \right)^{0,41} = 1,10 \% \text{ об.}$$

Рассчитываем  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  — расстояния по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  от источника поступления паров, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени соответственно [2]:

$$X_{НКПР} = K_1 L \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 32 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,10}{0,7} \right)^{0,5} = 31,44 \text{ м};$$

$$Y_{НКПР} = K_1 S \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 10 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,10}{0,7} \right)^{0,5} = 9,83 \text{ м};$$

$$Z_{НКПР} = K_3 H \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 0,04714 \cdot 8 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,25 \cdot 1,10}{0,7} \right)^{0,5} = 0,31 \text{ м},$$

где  $K_1$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ равным 1,1958;

$K_2$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ равным  $T/3600 = 1$ ;

$K_3$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ при отсутствии подвижности воздушной среды равным 0,04714;

$\delta = 1,25$  — допустимое отклонение концентрации при задаваемом уровне значимости  $Q(C > C)$ , определяется по табличным данным [2].

Так как  $X_{НКПР} > 0,5L$  и  $Y_{НКПР} > 0,5S$ , значение коэффициента  $Z$  определяем по формуле [2]

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m} \rho_z \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) F Z_{НКПР} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-3}}{25,611 \text{ кг}} \cdot 5,7755 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \left( 1,10 + \frac{1,1}{1,25} \right) \cdot 320 \text{ м}^2 \cdot 0,31 \text{ м} = 0,22.$$

Стехиометрическая концентрация паров растворителя  $C_{ст}$ , исходя из химической брутто-формулы, рассчитывается по формуле

$$C_{ст} = 100 / (1 + 4,84 \beta),$$

где  $\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания ( $n_C$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_X$  — соответственно число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего):

- для ксилола

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 8 + \frac{10 - 0}{4} - 0 = 10,5;$$

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 10,5} = 1,93 \% \text{ об.};$$

- для уайт-спирита

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 10,5 + \frac{21 - 0}{4} - 0 = 15,75;$$

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 15,75} = 1,29 \% \text{ об.}$$

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n} =$$

$$= (900 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{25,611 \text{ кг} \cdot 0,22}{2048 \text{ м}^3 \cdot 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \frac{100}{1,29} \frac{1}{3} = 13,64 \text{ кПа},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозоодушнoй или парозоодушнoй смеси в замкнутом объеме, принимаем равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Расчетное избыточное давление взрыва более 5 кПа, следовательно помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха относится к категории Б.

Рассмотрим возможность снижения категории взрывопожарной опасности помещения за счет устройства аварийной вентиляции, позволяющей уменьшить концентрацию растворителей. Рассчитаем кратность аварийной вентиляции, при которой помещение не относится к категории Б.

Найдем объем растворителей, поступающих в помещение, при расчетном давлении взрыва 4,99 кПа (< 5 кПа):

$$V_a^* = \frac{\Delta P V_{cs} C_{cm} K_n}{(P_{\max} - P_0) Z \cdot 100} = \frac{4,99 \text{ кПа} \cdot 2048 \text{ м}^3 \cdot 1,29 \cdot 3}{(900 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \cdot 0,22 \cdot 100} = 2,25 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем кратность воздухообмена при поступлении данного количества растворителей в складское помещение (продолжительность поступления  $T = 3600$  с):

$$\left( \frac{A}{3600 \text{ с}} \right) T + 1 = \frac{V_a}{V_a^*};$$

$$A = \frac{V_a}{V_a^*} - 1 = \frac{m}{V_a^* \rho_z} - 1 = \frac{25,611 \text{ кг}}{1,798 \text{ м}^3 \cdot 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} - 1 = 1,42 \text{ ч}^{-1}.$$

Произведем расчет избыточного давления взрыва при кратности аварийной вентиляции  $A = 2 \text{ ч}^{-1} = 5,56 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ .

Скорость движения воздуха в помещении составит

$$U = AL = 5,356 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} \cdot 32 \text{ м} = 0,018 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Интенсивность испарения растворителя  $W$  (по ксилолу) при скорости воздушного потока в помещении  $U = 0,018 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (с некоторым запасом коэффициент  $\eta = 1,6$  в соответствии с [2]) будет равна

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_u = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{106} \cdot 2,75 = 45,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с [2] определяем массу паров по наиболее опасному компоненту — ксилолу:

$$m_u = W F_u T = 45,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 251,3 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с} = 40,93 \text{ кг}.$$

Масса находящегося в помещении паров растворителя с учетом работы аварийной вентиляции будет равна

$$m = \frac{m_u}{AT + 1} = \frac{40,93 \text{ кг}}{5,56 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} \cdot 3600 \text{ с} + 1} = 13,64 \text{ кг}.$$

Средняя концентрация паров растворителя в помещении  $C_{cp}$  составит

$$C_{cp} = \frac{100m}{\rho_e V_{ce}} = \frac{100 \cdot 13,64 \text{ кг}}{4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 2048 \text{ м}^3} = 0,16 \% \text{ об.}$$

Получаем  $C_{cp} = 0,16 \% \text{ об.} < 0,5C_{НКПР} = 0,5 \cdot 1,1 = 0,55 \% \text{ об.}$  Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве  $Z$  расчетным методом.

Находим значение  $C_0$  — предэкспоненциального множителя при подвижности воздушной среды для ЛВЖ:

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \rho_e V_{ce}} \right)^{0,46} = 2,72 \left( \frac{13,64 \text{ кг} \cdot 100}{2,72 \cdot 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 2048 \text{ м}^3} \right)^{0,46} = 0,74 \% \text{ об.}$$

Рассчитываем  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  — расстояния по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  от источника поступления паров, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени соответственно:

$$X_{НКПР} = K_1 L \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 32 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,74}{0,7} \right)^{0,5} = 20,77 \text{ м};$$

$$Y_{НКПР} = K_1 S \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 10 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,74}{0,7} \right)^{0,5} = 6,49 \text{ м};$$

$$Z_{НКПР} = K_3 H \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 0,3536 \cdot 8 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,74}{0,7} \right)^{0,5} = 1,54 \text{ м},$$

где  $K_1$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ равным 1,1958;

$K_2$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ равным  $T/3600 = 1$ ;

$K_3$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ при подвижности воздушной среды равным 0,3536;

$\delta = 1,27$  — допустимое отклонение концентрации при задаваемом уровне значимости  $Q(C > \bar{C})$ , определяется по табличным данным [2].

Так как  $X_{НКПР} > 0,5L$  и  $Y_{НКПР} > 0,5S$ , значение коэффициента  $Z$  определяем по формуле

$$\begin{aligned} Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m} \rho_e \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) F Z_{НКПР} = \\ &= \frac{5 \cdot 10^{-3}}{13,64 \text{ кг}} \cdot 5,7755 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \left( 0,74 + \frac{1,1}{1,27} \right) \cdot 320 \text{ м}^2 \cdot 1,54 \text{ м} = 1,6. \end{aligned}$$

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_z} \frac{100}{C_{\text{см}}} \frac{1}{K_u} =$$

$$= (900 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{13,64 \text{ кг} \cdot 1}{2048 \text{ м}^3 \cdot 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \frac{100}{1,29} \frac{1}{3} = 33,02 \text{ кПа}.$$

При оборудовании аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $2 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха относится к категории Б.

Произведем расчет избыточного давления взрыва при кратности аварийной вентиляции  $A = 6 \text{ ч}^{-1} = 16,67 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ .

Скорость движения воздуха в помещении составит

$$U = AL = 16,67 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} \cdot 32 \text{ м} = 0,053 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Интенсивность испарения растворителя  $W$  (по ксилолу) при скорости воздушного потока в помещении  $U = 0,053 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (с некоторым запасом коэффициент  $\eta = 1,6$  в соответствии с рекомендациями [2]) будет равна

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_u = 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot \sqrt{106} \cdot 2,75 = 45,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с [2] определяем массу паров по наиболее опасному компоненту — ксилолу:

$$m_u = WF_u T = 45,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 251,3 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с} = 40,93 \text{ кг}.$$

Масса находящихся в помещении паров растворителя с учетом работы аварийной вентиляции будет равна

$$m = \frac{m_u}{AT + 1} = \frac{40,93 \text{ кг}}{16,67 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} \cdot 3600 \text{ с} + 1} = 5,85 \text{ кг}.$$

Средняя концентрация паров растворителя в помещении  $C_{\text{ср}}$  составит

$$C_{\text{ср}} = \frac{100m}{\rho_z V_{\text{св}}} = \frac{100 \cdot 5,85 \text{ кг}}{4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 2048 \text{ м}^3} = 0,07 \% \text{ об}.$$

Таким образом,  $C_{\text{ср}} = 0,07 \% \text{ об} < 0,5 C_{\text{НКПР}} = 0,5 \cdot 1,1 = 0,55 \% \text{ об}$ . Следовательно, можно определить значение коэффициента участия паров растворителя во взрыве  $Z$  расчетным методом.

Находим значение  $C_0$  — предэкспоненциального множителя при подвижности воздушной среды для ЛВЖ [2]:

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \rho_z V_{св}} \right)^{0,46} = 2,72 \left( \frac{5,85 \text{ кг} \cdot 100}{2,72 \cdot 4,164 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 2048 \text{ м}^3} \right)^{0,46} = 0,50 \% \text{ об.}$$

Рассчитываем  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  — расстояния по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  от источника поступления паров, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени соответственно [2]:

$$X_{НКПР} = K_1 L \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 32 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,50}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ м};$$

$$Y_{НКПР} = K_1 S \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 1,1958 \cdot 10 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,50}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ м};$$

$$Z_{НКПР} = K_3 H \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5} = 0,3536 \cdot 8 \text{ м} \left( 1 \cdot \ln \frac{1,27 \cdot 0,5}{0,7} \right)^{0,5} = 0 \text{ м},$$

где  $K_1$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ равным 1,1958;

$K_2$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ равным  $T/3600 = 1$ ;

$K_3$  — коэффициент, принимаемый для ЛВЖ при подвижности воздушной среды равным 0,3536;

$\delta = 1,27$  — допустимое отклонение концентрации при задаваемом уровне значимости  $Q(C > \bar{C})$ , определяется по табличным данным [2].

Значения  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  согласно [2] принимаются равными 0, поскольку логарифмы указанных в формулах сомножителей дают отрицательные значения.

Так как  $X_{НКПР} < 0,5L$  и  $Y_{НКПР} < 0,5S$ , значение коэффициента  $Z$  определяем по формуле [2]

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \rho_z \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) X_{НКПР} Y_{НКПР} Z_{НКПР} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \rho_z \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) \cdot 0 = 0.$$

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле [2]

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n} = (P_{\max} - P_0) \frac{m \cdot 0}{V_{св} \rho_z} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n} = 0 \text{ кПа.}$$



При оборудовании аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее  $6 \text{ ч}^{-1}$ , отвечающей требованиям [2], помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха не относится к категориям А и Б.

Проведем проверку принадлежности помещения к категориям В1 – В4.

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $g$  по формулам (5) и (6):

$$Q = G Q_{II}^p = 769,5 \text{ кг} \cdot 43,97 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 33835 \text{ МДж};$$

где  $G$  — количество пожарной нагрузки растворителя,

$$G = V_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} = 2 \cdot 0,45 \text{ м}^3 \cdot 855 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 769,5 \text{ кг}.$$

Площадь размещения пожарной нагрузки составит

$$S = 2F_{\text{эмк}} = 2 \cdot 1,54 \text{ м}^2 = 3,08 \text{ м}^2.$$

Поскольку площадь размещения пожарной нагрузки меньше  $10 \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем  $S = 10 \text{ м}^2$  [2].

Тогда имеем.

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{33835 \text{ МДж}}{10 \text{ м}^2} = 3383,5 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Таким образом, удельная пожарная нагрузка более  $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Помещение сушильно-пропиточного отделения электромашинного цеха при оснащении его аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена  $A = 6 \text{ ч}^{-1}$  относится к категории В1 [2].

## 4. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ГОРЮЧИМИ ЖИДКОСТЯМИ

### 4.1. Особенности категорирования

Для помещений с горючими жидкостями избыточное давление взрыва рассчитывается по формулам свода правил [2]:

- для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, O, N, Cl, Br, I, F:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_n} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозвушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным, при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса ГЖ, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, вычисляемая для паров ГЖ по рекомендациям [2], кг;

$Z$  — коэффициент участия паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения паров в объеме помещения согласно [2], допускается принимать по табличным данным [2];

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  — плотность пара при расчетной температуре  $t_p$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_{ст}$  — стехиометрическая концентрация ГЖ, % об.;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, допускается принимать равным трем;

- для индивидуальных веществ, а также для смесей:

$$\Delta P = \frac{mH_m P_0 Z}{V_{св} \rho_в C_p T_0} \frac{1}{K_n},$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$\rho_в$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ , допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$T_0$  — начальная температура воздуха, К.

При определении категории помещений необходимо учитывать следующие положения [2]:

— в качестве расчетного выбирается наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором участвует аппарат, имеющий наибольшую пожарную нагрузку;

— в процессе аварии все содержимое аппарата поступает в помещение и образует пожарную нагрузку;

— площадь пожарной нагрузки определяется с учетом особенностей технологии; под площадью пожарной нагрузки понимается площадь разлива ГЖ из агрегата, ограниченная бортиками, поддонами, сливными емкостями и др.;

— происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат, по прямому и обратному потокам в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

## 4.2. Цех разделения воздуха

### Исходные данные

Машинное отделение цеха разделения, компрессии воздуха и компрессии продуктов разделения воздуха (рис. 7). В помещении находятся горючие вещества (турбинные, промышленные и другие масла с температурой вспышки выше  $61^\circ\text{C}$ ), которые обрабатываются в центробежных и поршневых компрессорах. Число компрессоров — пять. Количество масла в каждом компрессоре колеблется от 15 до 1200 кг. Низшая теплота сгорания  $Q_n^p$  для турбинного масла составляет  $41,87 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

### Обоснование расчетного варианта аварии

Происходят разгерметизация и разлив турбинного масла одного из компрессоров (имеющего наибольшее количество масла). Площадь разлива ограничена бортиками и составляет  $30 \text{ м}^2$ .

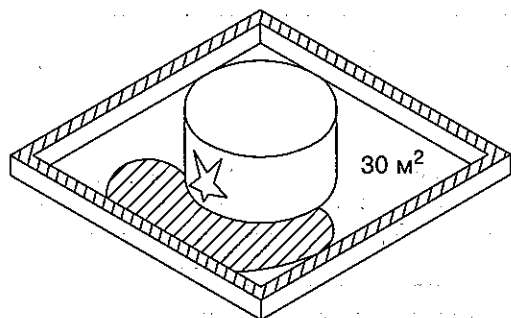


Рис. 7. Схема размещения пожарной нагрузки компрессора машинного отделения цеха разделения воздуха

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку

$$Q = GQ_n^p = 1200 \text{ кг} \cdot 41,87 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 50244 \text{ МДж}.$$

Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки составляет 30 м<sup>2</sup>. Тогда удельная пожарная нагрузка  $g$  будет равна

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{50244 \text{ МДж}}{30 \text{ м}^2} = 1674,8 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Таким образом, удельная пожарная нагрузка более 1401 МДж·м<sup>-2</sup>, но менее 2200 МДж·м<sup>-2</sup>. Следовательно, помещение относится к категории В2 при условии, что способ размещения пожарной нагрузки удовлетворяет требованиям, изложенным в своде правил [2].

Определим, выполняется ли условие отнесения данного помещения к категории В2 [2]:

$$Q \geq 0,64 g H^2,$$

$$0,64 g H^2 = 0,64 \cdot 1674,8 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 6,5 \text{ м} \cdot 6,5 \text{ м} = 45286,6 \text{ МДж},$$

где  $H = 6,5 \text{ м}$  — минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия.

Так как  $Q = 50244 \text{ МДж}$  и условие  $Q > 45286,6 \text{ МДж}$  выполняется, помещение следует отнести к категории В1.

### 4.3. Цех консервации и упаковки станков

#### Исходные данные

Помещение отделения консервации и упаковки станков (рис. 8). В помещении производятся обезжиривание поверхностей станков в водном растворе тринатрийфосфата с синтанолом ДС-10, отдельных деталей станков уайт-спиритом, а также обработка поверхностей станков (промасливание) промышленным маслом И-50. Размеры помещения  $L \times S \times H = 54,0 \times 12,0 \times 12,7 \text{ м}$ .

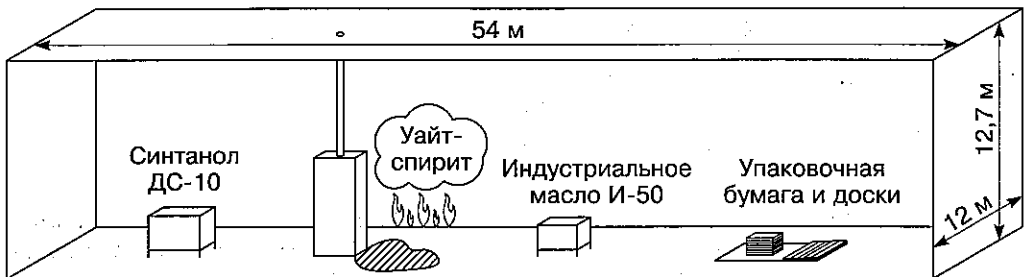


Рис. 8. Схема помещения отделения консервации и упаковки станков

Объем помещения  $V_n = 8229,6 \text{ м}^3$ . Свободный объем помещения  $V_{св} = 0,8 \cdot 8229,6 = 6583,7 \text{ м}^3 \approx 6584 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 648 \text{ м}^2$ . Обезжиривание станков раствором тринатрийфосфата ( $m_1 = 20,7 \text{ кг}$ ) с синтанолом ДС-10 ( $m_2 = 2,36 \text{ кг}$ ) осуществляется в ванне размером  $L_1 \times S_1 \times H_1 = 1,5 \times 1,0 \times 1,0 \text{ м}$  ( $F_1 = 1,5 \text{ м}^2$ ). Отдельные детали станков обезжириваются в вытяжном шкафу размером  $L_2 \times S_2 \times H_2 = 1,2 \times 0,8 \times 2,85 \text{ м}$  ( $F_2 = 0,96 \text{ м}^2$ ) уайт-спиритом, который хранится в шкафу в емкости объемом  $V_a = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$  (суточная норма). Обработка поверхностей станков производится в ванне с индустриальным маслом И-50 размером  $L_3 \times S_3 \times H_3 = 1,15 \times 0,9 \times 0,72 \text{ м}$  ( $F_3 = 1,035 \text{ м}^2$ ,  $V_3 = 0,7452 \text{ м}^3$ ) при температуре  $140 \text{ }^\circ\text{С}$ . Масса индустриального масла И-50 в ванне  $m_3 = 538 \text{ кг}$ . Рядом с ванной для промасливания станков расположено место для их упаковки размером  $L_4 \times S_4 = 6,0 \times 4,0 \text{ м}$  ( $F_4 = 24,0 \text{ м}^2$ ), на котором находится упаковочная бумага массой  $m_4 = 24 \text{ кг}$  и обшивочные доски массой  $m_5 = 1650 \text{ кг}$ .

Тринатрийфосфат — негорючее вещество. Брутто-формула уайт-спирита  $\text{C}_{10,5}\text{H}_{21,0}$ . Константы уравнения Антуана для уайт-спирита:  $A = 7,13623$ ;  $B = 2218,3$ ;  $C_A = 273,15$ . Температура вспышки уайт-спирита  $t_{всп} > 33 \text{ }^\circ\text{С}$ , индустриального масла И-50 —  $t_{всп} = 200 \text{ }^\circ\text{С}$ , синтаноло ДС-10 —  $t_{всп} = 247 \text{ }^\circ\text{С}$ . Плотность жидкости  $\rho_{ж}$  при температуре  $t = 25 \text{ }^\circ\text{С}$  уайт-спирита составляет  $790 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , индустриального масла И-50 —  $903 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , синтаноло ДС-10 —  $980 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Теплота сгорания уайт-спирита  $H_m = Q_n^p = 43,966 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 4,397 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , индустриального масла И-50 по формуле Басса  $Q_n^p = 50460 - 8,545\rho_{ж} = 50460 - 8,545 \cdot 903 = 42744 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 42,744 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , упаковочной бумаги  $Q_n^p = 13,272 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ , древесины обшивочных досок  $Q_n^p = 20,853 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

#### Обоснование расчетного варианта аварии

При определении избыточного давления взрыва в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация емкости с уайт-спиритом и разлив растворителя, исходя из расчета, что 1 л уайт-спирита разливается на  $1 \text{ м}^2$  пола помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в помещении  $t_p = 35 \text{ }^\circ\text{С}$ . Длительность испарения  $T = 3600 \text{ с}$  [2].

Проведем расчет количества растворителя, поступающего в помещение при разгерметизации емкости.

Плотность паров уайт-спирита определяется по формуле

$$\rho_n = \frac{M}{V_0(1 + \alpha t_p)} = \frac{147 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}}{22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1} (1 + 0,00367 \text{ град}^{-1} \cdot 35 \text{ }^\circ\text{С})} = 5,824 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3},$$

где  $M$  — масса киломоля уайт-спирита, равная  $147 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_0$  — объем киломоля газа при нормальных условиях, принимается равным  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$  — коэффициент температурного расширения газа;

$t_p$  — расчетная температура воздуха, °С.

Объем  $V_{жс}$  и площадь разлива  $F_u$  поступившего в помещение при расчетной аварии уайт-спирита согласно [2] составят:

$$V_{жс} = V_a = 0,003 \text{ м}^3 = 3 \text{ л};$$

$$F_u = 1,0 V_a = 1,0 \cdot 3 = 3 \text{ м}^2.$$

Интенсивность испарения  $W$  рассчитывается по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n,$$

где  $\eta = 1$  — коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$P_n$  — давление насыщенного пара, кПа, при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяется из уравнения Антуана:

$$\lg P_n = A - \left( \frac{B}{C_A + t_p} \right) = 7,13623 - \left( \frac{2218,3}{273,15 + 35} \right) = -0,06254;$$

$$P_n = 10^{-0,06254} = 0,87 \text{ кПа}.$$

Тогда интенсивность испарения растворителя составит

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{147} \cdot 0,87 = 10,55 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Масса паров уайт-спирита, поступивших в помещение, будет равна

$$m = W F_u T = 10,55 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 3 \text{ м}^2 \cdot 3600 \text{ с} = 0,114 \text{ кг}.$$

Стехиометрическая концентрация паров растворителя  $C_{ст}$ , исходя из химической брутто-формулы, рассчитывается по формуле

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \beta},$$

где  $\beta$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания,

$$\beta = n_C + \frac{n_H + n_X}{4} - \frac{n_O}{2} = 10,5 + \frac{21 - 0}{4} - 0 = 15,75,$$

$n_C, n_H, n_O, n_X$  — соответственно число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Получаем

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 15,75} = 1,29 \% \text{ об.}$$

Избыточное давление  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_n} \frac{100}{C_{\text{см}}} \frac{1}{K_n} =$$

$$= (900 \text{ кПа} - 101 \text{ кПа}) \frac{0,114 \text{ кг} \cdot 0,3}{6584 \text{ м}^3 \cdot 5,824 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} \frac{100}{1,29} \frac{1}{3} = 0,02 \text{ кПа},$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозоудушной или парозоудушной смеси в замкнутом объеме, принимаем равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, допускается принимать равным 101 кПа;

$Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, для уайт-спирита принимаем равным 0,3;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Расчетное избыточное давление взрыва менее 5 кПа. Помещение отделения консервации и упаковки станков не относится к категории Б.

Проведем проверку принадлежности данного помещения к категориям В1 — В4.

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $q$ .

Имеем

$$G_3 = m_3 = 538 \text{ кг}; \quad G_4 = m_4 = 24 \text{ кг}; \quad G_5 = m_5 = 1650 \text{ кг},$$

где  $G_3, G_4, G_5$  — количество пожарной нагрузки индустриального масла, упаковочной бумаги и обшивочных досок соответственно.

Тогда получаем

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{ni}^p = 538 \cdot 42,744 + 24 \cdot 13,272 + 1650 \cdot 20,583 = 57277 \text{ МДж}.$$

Площадь размещения пожарной нагрузки

$$S = F_3 + F_4 = 1,035 \text{ м}^2 + 24 \text{ м}^2 = 25,035 \text{ м}^2.$$

Тогда получаем

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{57277 \text{ МДж}}{25,035 \text{ м}^2} = 2288 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Удельная пожарная нагрузка более 2200 МДж · м<sup>-2</sup>, следовательно помещение отделения консервации и упаковки станков относится к категории В1 [2].

#### 4.4. Помещения с высокотемпературными органическими теплоносителями (ВОТ)

Высокотемпературные органические теплоносители (дифенильная смесь, АМТ-300, АМТ-300Т, ОМТИ и др.) являются горючими жидкостями с высокими значениями температур вспышки (от 120 до 200 °С). Температуры их самовоспламенения находятся в пределах от 230 до 550 °С. При обычной температуре ВОТ взрывоопасных смесей паров с воздухом не образуют, но технология их применения предусматривает нагрев до температур 250 °С и выше. При таких условиях концентрации паров органических теплоносителей достаточны для образования взрывоопасных смесей внутри технологического оборудования и в случае аварийной разгерметизации аппаратуры — в объеме производственного помещения. Отмеченные свойства ВОТ требуют особого подхода к определению категорий по взрывопожарной и пожарной опасности тех помещений, где они применяются.

Начальным этапом категорирования является оценка вероятных аварийных ситуаций. Затем выполняется расчет давления взрыва:

$$\Delta P = [mH_m P_0 Z] / [V_{св} \rho_v C_p T_0] \cdot 1 / K_n,$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$P_0$  — начальное давление, допускается принимать равным 101 кПа;

$Z$  — коэффициент участия паров и аэрозоля во взрыве, равный единице при температуре нагрева жидкости выше температуры вспышки, и нулю при температуре нагрева жидкости ниже температуры вспышки при невозможности образования аэрозоля за счет механического распыла;

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_v$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>, допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$T_0$  — начальная температура воздуха, К;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, допускается принимать равным трем;

$m$  — масса паров и аэрозоля высоконагретой жидкости, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, вычисляемая по формуле

$$m = m_n + m_k + m_{исп} + m_a, \quad (10)$$

где  $m_n$  — масса парообразного высоконагретого теплоносителя, поступившая при расчетной аварии в помещение, для случая паровой системы обогрева теплоносителя, кг. При начальной температуре нагрева теплоносителя  $T_n$ , не превышающей температуру кипения для соответствующего давления в технологической системе обогрева, принимается равной нулю. Определяется как масса газа, поступившего в помещение при расчетной аварии в соответствии с [2];



$m_k$  — масса паров и аэрозоля высоконагретого теплоносителя, поступивших в помещение в результате расчетной аварии, при испарении теплоносителя от начальной температуры нагрева до его температуры кипения при нормальных условиях окружающей среды, кг. При начальной температуре нагрева теплоносителя  $T_n$ , не превышающей температуру кипения при нормальных условиях окружающей среды, принимается равной нулю. Определяется по формуле

$$m_k = [m_{жс} C_{жс, ср} (T_n - T_{кип})] / H_{исп, ср}, \quad (11)$$

$m_{жс}$  — масса жидкого высоконагретого теплоносителя, поступившего при расчетной аварии в помещение, кг;

$C_{жс, ср}$  — средняя удельная теплоемкость жидкого высоконагретого теплоносителя в интервале температур от  $T_n$  до  $T_{кип}$ , Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$T_n$  — начальная температура нагрева высоконагретого теплоносителя, К;

$T_{кип}$  — температура кипения высоконагретого теплоносителя при атмосферном давлении, К;

$H_{исп, ср}$  — средняя удельная теплота испарения высоконагретого теплоносителя в интервале температур от  $T_n$  до  $T_{кип}$ , Дж · кг<sup>-1</sup>;

$m_{исп}$  — масса паров и аэрозоля высоконагретого теплоносителя, кг, поступивших при расчетной аварии в помещение, при испарении от начальной температуры нагрева, не превышающей температуру кипения при нормальных условиях окружающей среды, до температуры окружающей среды  $T_0$ . Определяется по формуле

$$m_{исп} = 0,02 \sqrt{M} P_n \cdot C_{жс} m_{жс} / H_{исп}, \quad (12)$$

$P_n$  — парциальное давление насыщенных паров высоконагретого теплоносителя при начальной температуре нагрева теплоносителя, кПа;

$C_{жс}$  — удельная теплоемкость высоконагретого теплоносителя при начальной температуре нагрева теплоносителя  $T_n$ , не превышающей температуру кипения, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$H_{исп}$  — удельная теплота испарения высоконагретого теплоносителя при начальной температуре нагрева теплоносителя  $T_n$ , не превышающей температуру кипения, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$m_a$  — масса аэрозоля, образующаяся при механическом распылении жидкой фазы, кг, определяемая в соответствии с [2], исходя из продолжительности работы распыляющих устройств.

Для высоконагретых теплоносителей, находящихся в технологическом оборудовании в виде чистого пара без жидкой фазы, массы  $m_k$ ,  $m_{исп}$  и  $m_a$  принимаются равными нулю, а  $m = m_n$ .

Если расчетное избыточное давление взрыва меньше 5 кПа, то помещение относится к пожароопасной категории В, если превышает 5 кПа — к категории Б.

## 5. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ГОРЮЧИМИ ПЫЛЯМИ

### 5.1. Особенности категорирования

Расчет избыточного давления  $\Delta P$ , кПа, производится в соответствии со сводом правил [2]. При этом коэффициент  $Z$  участия взвешенной пыли в горении рассчитывают по формуле

$$Z = 0,5F, \quad (13)$$

где  $F$  — массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэрозоль становится неспособной распространять пламя. В отсутствие возможности получения сведений для оценки данной величины допускается принимать  $F = 1$ .

Расчетную массу взвешенной в объеме помещения пыли  $m$ , кг, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяют по формуле

$$m = \min \left\{ m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}, \rho_{\text{ст}} V_{\text{ав}} / Z \right\}, \quad (14)$$

где  $m_{\text{вз}}$  — расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$m_{\text{ав}}$  — расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;

$\rho_{\text{ст}}$  — стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэрозоль, кг · м<sup>-3</sup>;

$V_{\text{ав}}$  — расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объеме помещения, м<sup>3</sup>.

В отсутствие возможности получения сведений для расчета  $V_{\text{ав}}$  допускается принимать

$$m = m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}. \quad (15)$$

Расчетную массу взвихрившейся пыли  $m_{\text{вз}}$  определяют по формуле

$$m_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} m_n, \quad (16)$$

где  $K_{\text{вз}}$  — доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации, при отсутствии

экспериментальных сведений о данной величине допускается принимать  $K_{\text{вз}} = 0,9$ ;

$m_n$  — масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг.

Расчетную массу пыли  $m_{\text{ав}}$ , поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, определяют по формуле

$$m_{\text{ав}} = (m_{\text{ан}} + qT) K_n, \quad (17)$$

где  $m_{\text{ан}}$  — масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, кг;  
 $q$  — производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$T$  — время отключения, с;

$K_n$  — коэффициент пыления, представляющий собой отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение, при отсутствии экспериментальных данных о  $K_n$  допускается принимать:

—  $K_n = 0,5$  — для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм;

—  $K_n = 1,0$  — для пылей с дисперсностью менее 350 мкм.

Массу отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяют по формуле

$$m_n = \frac{K_z}{K_y} (m_1 + m_2), \quad (18)$$

где  $K_z$  — доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

$K_y$  — коэффициент эффективности пылеуборки. Принимают равным 0,6 при сухой и 0,7 — при влажной пылеуборке (ручной). При механизированной вакуумной пылеуборке для ровного пола  $K_y$  принимают равным 0,9, для пола с выбоинами (до 5 % площади) — 0,7;

$m_1$  — масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг;

$m_2$  — масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими уборками, кг.

Под труднодоступными для уборки площадями подразумевают такие поверхности в производственных помещениях, очистка которых осуществляется только при генеральных пылеуборках. Доступными для уборки местами являются поверхности, пыль с которых удаляется в процессе текущих пылеуборок (ежедневно, ежесуточно и т. п.).

Масса пыли  $m_i$ , оседающей на различных поверхностях в помещении за межуборочный период, определяется по формуле

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i, \quad i = 1, 2, \quad (19)$$

где  $M_1 = \sum_j M_{1j}$  — масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между генеральными пылеуборками, кг;

$M_{1j}$  — масса пыли, выделяемая единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;

$M_2 = \sum_j M_{2j}$  — масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между текущими пылеуборками, кг;

$M_{2j}$  — масса пыли, выделяемая единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;

$\alpha$  — доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами, при отсутствии экспериментальных данных полагают  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  — доли выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей соответственно на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях помещения ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

При отсутствии сведений о коэффициентах  $\beta_1$  и  $\beta_2$  допускается принимать  $\beta_1 = 1$  и  $\beta_2 = 0$ .

Массы пыли  $M_i$  могут быть также определены экспериментально (или по аналогии с действующими образцами производств) в период максимальной загрузки оборудования по формуле

$$M_i = \sum_j (G_{ij} F_{ij}) \tau_i, \quad i = 1, 2, \quad (20)$$

где  $G_{1j}, G_{2j}$  — интенсивность пылеотложений соответственно на труднодоступных  $F_{1j}$  ( $m^2$ ) и доступных  $F_{2j}$  ( $m^2$ ) площадях,  $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  — промежуток времени соответственно между генеральными и текущими пылеуборками, с.

## 5.2. Цех фасовки сухого растворимого напитка [19]

### Исходные данные

Производственное помещение, где осуществляется фасовка пакетов с сухим растворимым напитком (рис. 9), имеет следующие габариты: высота — 8 м; длина — 30 м; ширина — 10 м. Свободный объем помещения составляет  $V_{св} = 0,8 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 10 \text{ м} = 1920 \text{ м}^3$ . В помещении расположен смеситель, представляющий собой цилиндрическую емкость со встроенным шнекообразным устройством равномерного перемешивания порошкообразных компонентов напитка, загружаемых через расположенное сверху входное отверстие. Единовременная загрузка дисперсного материала в смеситель составляет  $m_{ан} = m = 300 \text{ кг}$ . Основным компонентом порошкообразной смеси является сахар (более 95 % масс.), который представляет наибольшую пожаровзрывоопасность. Подготовленная в смесителе порошкообразная смесь

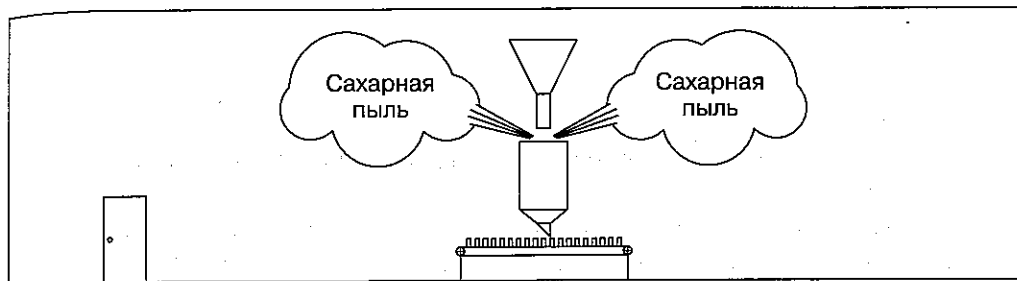


Рис. 9. Схема помещения фасовки сухого растворимого напитка

Таблица 2. Распределение сахарной пыли по дисперсности

Фракция пыли, мкм	≤ 100	≤ 200	≤ 500	≤ 1000
Массовая доля, % масс.	5	10	40	100
Примечание. Критический размер частиц взрывоопасной взвеси сахарной пыли $d = 200$ мкм.				

подается в аппараты фасовки, где производится дозирование (по 30 г) сухого напитка в полиэтиленовые упаковки. Значительное количество пылеобразного материала в смесителе и частая пылеуборка в помещении позволяют при обосновании расчетного варианта аварии пренебречь пылеотложениями на полу, стенах и других поверхностях.

Расчет категории помещения производится для сахарной пыли, которая представлена в подавляющем количестве по отношению к другим компонентам сухого напитка. Теплота сгорания пыли  $H_m = 16477$  кДж · кг<sup>-1</sup> =  $1,65 \cdot 10^7$  Дж · кг<sup>-1</sup>. Распределение пыли по дисперсности представлено в табл. 2.

#### Обоснование расчетного варианта аварии

Аварийная ситуация, которая сопровождается наибольшим выбросом горючего материала в объем помещения, связана с разгерметизацией смесителя как емкости, содержащей наибольшее количество горючего материала. Процесс разгерметизации может быть связан со взрывом взвеси в смесителе: при перемешивании в объеме смесителя создается взрывоопасная смесь горючего порошка с воздухом, зажигание которой возможно разрядом статического электричества или посторонним металлическим предметом, попавшим в аппарат при загрузке исходных компонентов; затирание примесного материала между шнеком и корпусом смесителя приводит к его разогреву до температур, достаточных для зажигания пылевоздушной смеси. Взрыв пыли в смесителе вызывает ее выброс в объем помещения и вторичный взрыв. Отнесение помещения к категории Б зависит от величины расчетного избыточного давления взрыва, определяемой по формуле

$$\Delta P = \frac{mH_m P_0 Z}{V_{св} \rho_a C_p T_0} \frac{1}{K_n},$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$\rho_a$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , принимаем равной 1,2 кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, принимаем равной 1010 Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$T_0$  — начальная температура воздуха, принимаем равной 300 К;

$P_0$  — начальное давление, допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  — масса взвешенной в объеме помещения пыли, кг;

$Z$  — коэффициент участия взвешенной пыли в горении;

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Определим величину коэффициента  $Z$  участия взвешенной пыли в горении:

$$Z = 0,5F = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05,$$

где  $F$  — массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого взрывзвесь становится неспособной распространять пламя (по табл. 2 для  $d \leq 200$  мкм  $F = 10\% = 0,1$ ).

Подставив полученное значение  $Z$  в исходную формулу, определим избыточное давление:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{mH_m P_0 Z}{V_{св} \rho_a C_p T_0} \frac{1}{K_n} = \\ &= \frac{300 \text{ кг} \cdot 1,65 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 101 \text{ кПа} \cdot 0,05 \cdot 1}{1920 \text{ м}^3 \cdot 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 1010 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1} \cdot 300 \text{ К} \cdot 3} = 11,94 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно помещение фасовки сухого растворимого напитка относится к категории Б.

### 5.3. Склад мукомольного комбината [19]

#### Исходные данные

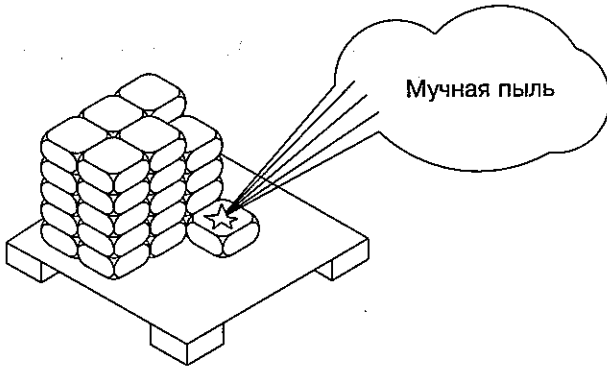
Складское помещение мукомольного комбината для хранения муки в бумажной таре по 5 кг. Свободный объем помещения  $V_{св} = 500$  м<sup>3</sup>. Значительное количество мелкодисперсной муки в таре по отношению к объему помещения и ежесменная пылеуборка в помещении позволяют пренебречь пылеотложениями на полу, стенах и других поверхностях.

Единственным взрывопожароопасным веществом в рассматриваемом помещении является мука — мелкодисперсный продукт (дисперсность

менее 100 мкм). Теплота сгорания  $H_m = 18000 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Критический размер частиц взрывоопасной взвеси мучной пыли  $d = 250 \text{ мкм}$ .

*Обоснование расчетного варианта аварии*

Аварийная ситуация с образованием пылевоздушного облака может быть связана с разрывом тары одного из пакетов с мукой (рис. 10), в результате которого его содержимое (5 кг) образует взрывоопасную взвесь.



**Рис. 10.** Схема расчетного варианта аварии в складском помещении мукомольного комбината

Избыточное давление определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{m H_m P_0 Z}{V_{св} \rho_{в} C_p T_0} \frac{1}{K_n},$$

где  $H_m$  — теплота сгорания,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

$\rho_{в}$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , принимаем равной  $1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, принимаем равной  $1010 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$T_0$  — начальная температура воздуха, принимаем равной  $300 \text{ К}$ ;

$P_0$  — начальное давление, допускается принимать равным  $101 \text{ кПа}$ ;

$m$  — масса взвешенной в объеме помещения пыли,  $\text{кг}$ ;

$Z$  — коэффициент участия взвешенной пыли в горении;

$V_{св}$  — свободный объем помещения,  $\text{м}^3$ ;

$K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем равным трем.

Определим величину коэффициента  $Z$  участия взвешенной пыли в горении:

$$Z = 0,5F = 0,5 \cdot 1 = 0,5,$$

где  $F$  — массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэрозвесь становится неспособной распространять пламя (для  $d \leq 250 \text{ мкм}$   $F = 100 \% = 1$ ).

Подставив полученное значение  $Z$  в исходную формулу, определим избыточное давление:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{m H_m P_0 Z}{V_{св} \rho_{св} C_p T_0} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= \frac{5 \text{ кг} \cdot 1,8 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 101 \text{ кПа} \cdot 0,5 \cdot 1}{500 \text{ м}^3 \cdot 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 1010 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1} \cdot 300 \text{ К} \cdot 3} = 8,33 \text{ кПа}.\end{aligned}$$

Расчетное избыточное давление взрыва превышает 5 кПа, следовательно склад мукомольного комбината относится к категории Б.



## 6. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ТВЕРДЫМИ ГОРЮЧИМИ ВЕЩЕСТВАМИ И МАТЕРИАЛАМИ

### 6.1. Особенности категорирования

Определение категорий помещений В1 – В4 осуществляют путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки (далее — пожарная нагрузка) на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл. 3.

Таблица 3. Удельная пожарная нагрузка и способы размещения для категорий В1 – В4

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка $g$ на участке, МДж · м <sup>-2</sup>	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется
В2	1401–2200	В соответствии с п. Б.2 [2]
В3	181–1400	В соответствии с п. Б.2 [2]
В4	1–180	На любом участке пола помещения площадь каждого из участков пожарной нагрузки не более 10 м <sup>2</sup> . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно п. Б.2 [2]

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) легковоспламеняющихся, горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов, в пределах пожароопасного участка пожарная нагрузка  $Q$ , МДж, определяется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p, \quad (21)$$

где  $G_i$  — количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{ni}^p$  — низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж · кг<sup>-1</sup>.

Удельная пожарная нагрузка  $g$ , МДж · м<sup>-2</sup>, определяется из соотношения

$$g = Q/S, \quad (22)$$

где  $S$  — площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup> (но не менее 10 м<sup>2</sup>).

В помещениях категорий В1 – В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведенных в табл. 3. В помещениях категории В4 расстояния между этими участками должны быть более предельных. В табл. 4 приведены рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$ , кВт · м<sup>-2</sup>, для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов. Значения  $l_{пр}$ , приведенные в табл. 4, рекомендуются при условии, если  $H > 11$  м; если  $H < 11$  м, то предельное расстояние определяется как  $l = l_{пр} + (11 - H)$ , где  $l_{пр}$  — определяется из табл. 4,  $H$  — минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

**Таблица 4.** Значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$

$q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup>	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{пр}$ , м	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки приведены в табл. 5.

**Таблица 5.** Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки

Материал	$q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup>
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг · м <sup>-3</sup> )	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0

Если пожарная нагрузка состоит из различных материалов, то  $q_{кр}$  определяется по материалу с минимальным значением этого показателя.

Для материалов пожарной нагрузки с неизвестными  $q_{кр}$  предельные расстояния принимаются  $l_{пр} \geq 12$  м.

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ или ГЖ, расстояние  $l_{np}$  между соседними участками размещения (разлива) пожарной нагрузки допускается рассчитывать по формулам:

$$l_{np} \geq 15 \text{ м} \quad \text{при } H \geq 11 \text{ м};$$

$$l_{np} \geq 26 - H \quad \text{при } H < 11 \text{ м}.$$

Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки  $Q$  отвечает неравенству

$$Q \geq 0,64g_m H^2, \quad (23)$$

то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно. Здесь  $g_m = 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $1401 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ,  $g_m = 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $181 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  и  $g_m = 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $0 < g \leq 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ .

## 6.2. Стеллажный склад [19]

### Исходные данные

Здание, представляющее собой многостеллажный склад (рис. 11), в котором предусмотрено хранение на металлических стеллажах негорючих материалов в картонных коробках. В каждом из десяти рядов стеллажей содержится десять ярусов ( $n_1 = 10$ ), шестнадцать отсеков ( $n_2 = 16$ ), в которых хранятся по три картонные коробки ( $n_3 = 3$ ) весом 1 кг каждая. Верхняя отметка хранения картонной тары на стеллажах составляет 5 м, а высота нижнего пояса до отметки пола — 7,2 м. Длина стеллажа составляет 48 м, ширина — 1,2 м, расстояние между рядами стеллажей — 2,8 м. Низшая теплота сгорания для картона  $Q_n^p = 13,4 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Определим площадь размещения пожарной нагрузки:

$$S = lb = 48 \text{ м} \cdot 1,2 \text{ м} = 57,6 \text{ м}^2,$$

где  $l$  — длина стеллажа, м;

$b$  — ширина стеллажа, м.

Определим полное количество горючего материала (картон) на одном стеллаже:

$$G = n_1 n_2 n_3 m = 10 \cdot 16 \cdot 3 \cdot 1 \text{ кг} = 480 \text{ кг},$$

где  $m = 1 \text{ кг}$  — масса одной картонной коробки.

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $g$ :

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p = 480 \text{ кг} \cdot 13,4 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 6432 \text{ МДж};$$

$$g = Q/S = 6432 \text{ МДж} / 57,6 \text{ м}^2 = 111,7 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

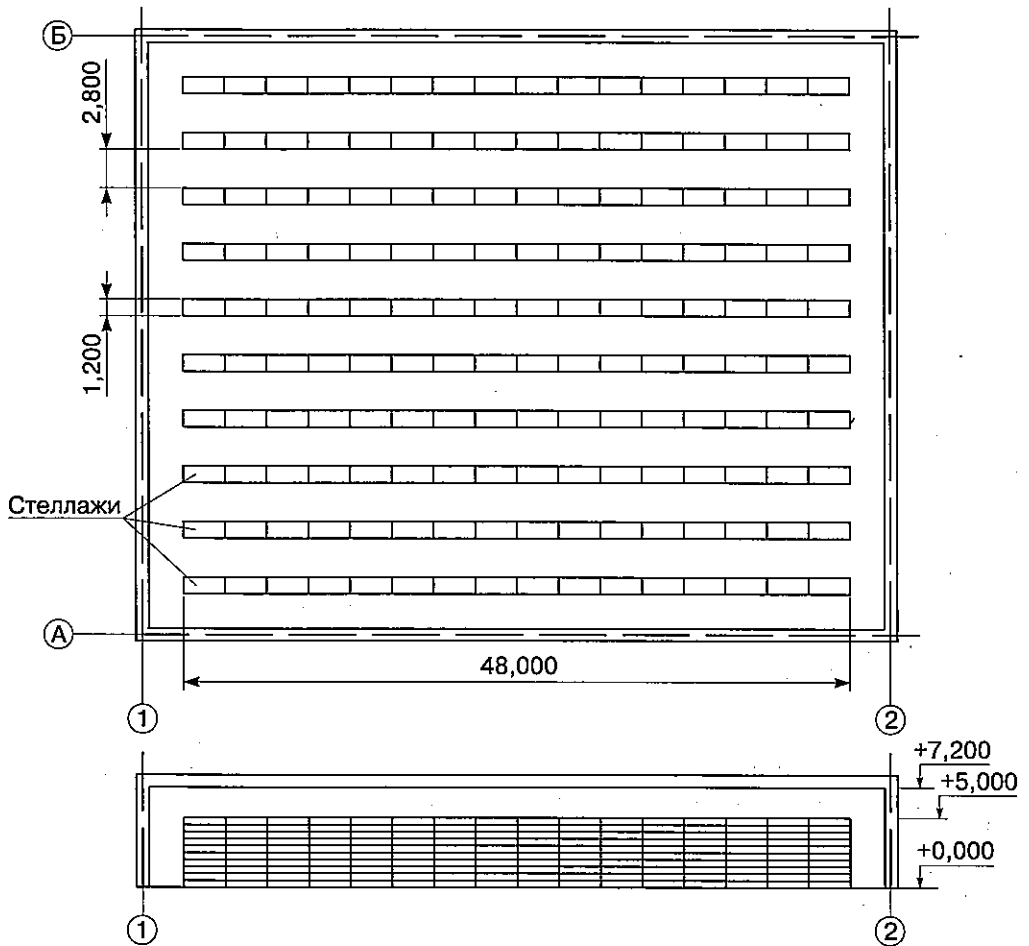


Рис. 11. Схема здания стеллажного склада

Удельная пожарная нагрузка менее  $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Это значение соответствует категории В4. Однако площадь размещения пожарной нагрузки превышает  $10 \text{ м}^2$ . Поэтому к категории В4 данное помещение отнести нельзя. В соответствии с [2] помещение может быть отнесено к категории В3 при условии, что способ размещения пожарной нагрузки удовлетворяет необходимым требованиям, изложенным в приложении Б [2].

Определим, выполняется ли условие  $Q \geq 0,64 g H^2$ :

$$0,64 g H^2 = 0,64 \cdot 111,7 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 2,2 \text{ м} \cdot 2,2 \text{ м} = 346,0 \text{ МДж},$$

где  $H = 2,2 \text{ м}$  — минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия.

Так как  $Q = 6432$  МДж и условие  $Q > 346$  МДж выполняется, помещение следует отнести к категории В2.

### 6.3. Производственная лаборатория [19]

#### Исходные данные

В помещении лаборатории (рис. 12) находятся: шкаф вытяжной химический, стол для микроаналитических весов, два стула. В лаборатории можно выделить один участок площадью  $2,5 \text{ м}^2$ , на котором расположены стол и два стула, выполненные из дерева. Общая масса древесины на этом участке составляет  $m = 47$  кг. Низшая теплота сгорания для древесины  $Q_{н}^p = 13,8$  МДж  $\cdot$  кг $^{-1}$ .

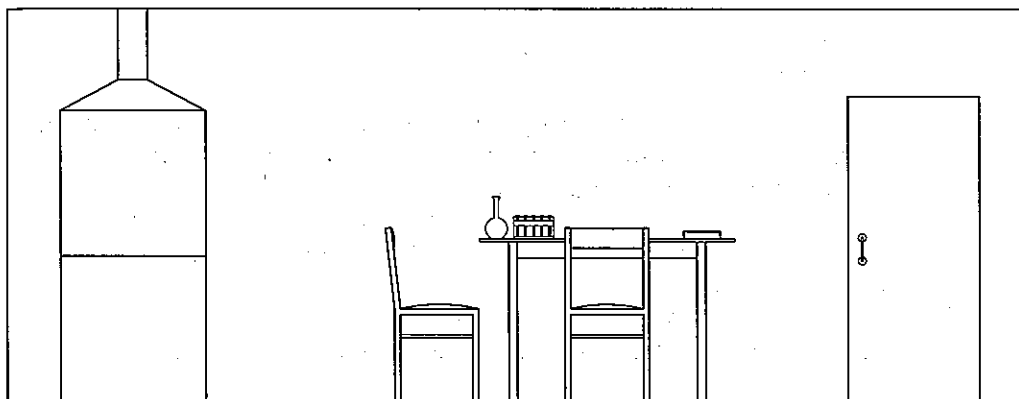


Рис. 12. Схема помещения производственной лаборатории

В соответствии с [2] определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $g$  по формулам (5) и (6):

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p = 47 \text{ кг} \cdot 13,8 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 648,8 \text{ МДж}.$$

Поскольку площадь размещения пожарной нагрузки меньше  $10 \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем площадь размещения пожарной нагрузки  $S = 10 \text{ м}^2$ . Тогда

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{648,8 \text{ МДж}}{10 \text{ м}^2} = 64,9 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с [2] помещения с данной удельной пожарной нагрузкой следует отнести к категории В4. Поскольку в помещении лаборатории нет других участков с пожарной нагрузкой, оно относится к категории В4.

## 7. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ВЗАИМОРЕАГИРУЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Расчетное избыточное давление  $\Delta P$  для веществ и материалов, способных сгорать при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, определяют по формуле

$$\Delta P = \frac{mH_m P_0 Z}{V_{св} \rho_a C_p T_0} \frac{1}{K_n},$$

где  $H_m$  — энергия, выделяющаяся при взаимодействии (с учетом сгорания продуктов взаимодействия до конечных соединений) или экспериментально в натуральных испытаниях, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$\rho_a$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>, допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

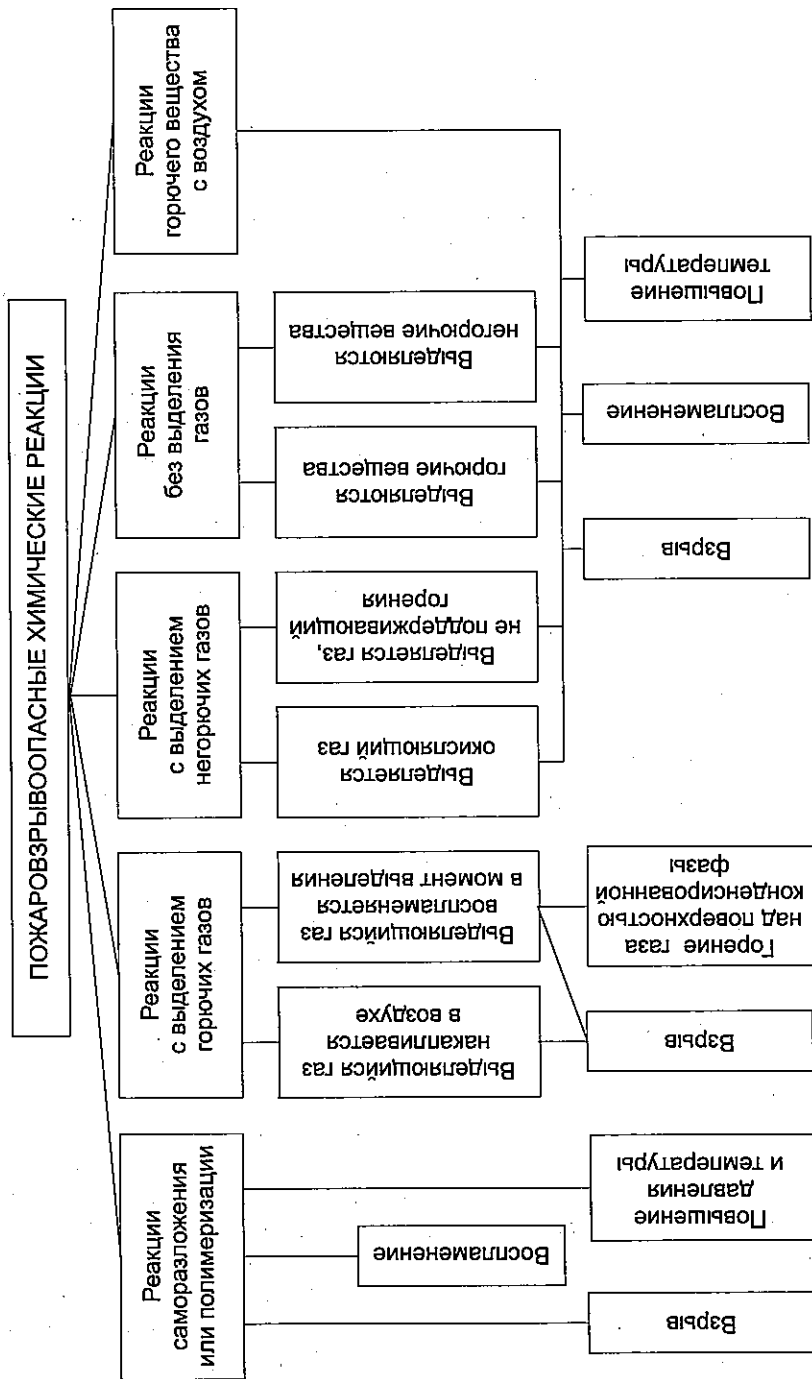
$T_0$  — начальная температура воздуха, К;

$Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, в данном случае принимается равным единице.

В случае, когда определить величину  $\Delta P$  не представляется возможным, следует принимать ее превышающей 5 кПа.

Основная опасность химических реакций может заключаться во взрыве, воспламенении, повышении температуры реакционной смеси и окружающих материалов, выделении токсических веществ и т. д. Возможные пожароопасные химические реакции представлены в виде классификационной табл. 6. Как следует из табл. 6, возможны 5 типов химической реакции. Реакции саморазложения или полимеризации, проходящие без участия воздуха или других веществ, могут быть очень бурными, взрывообразными, сопровождаться воспламенением (без взрыва) или идти с выделением тепла, что влечет за собой некоторое повышение давления в замкнутом объеме. Вещества, разлагающиеся или полимеризующиеся со взрывом, по существу, являются взрывчатыми веществами, на помещения и здания для производства и хранения которых СП 12.13130.2009 не распространяется. Однако такие вещества могут образовываться не только в процессе производства, но и в условиях неподвижного, аварийного соединения менее опасных в отдельности веществ друг с другом. В этом случае следует учитывать возможность образования таких веществ.

Таблица 6. Классификация пожаровзрывоопасных химических реакций



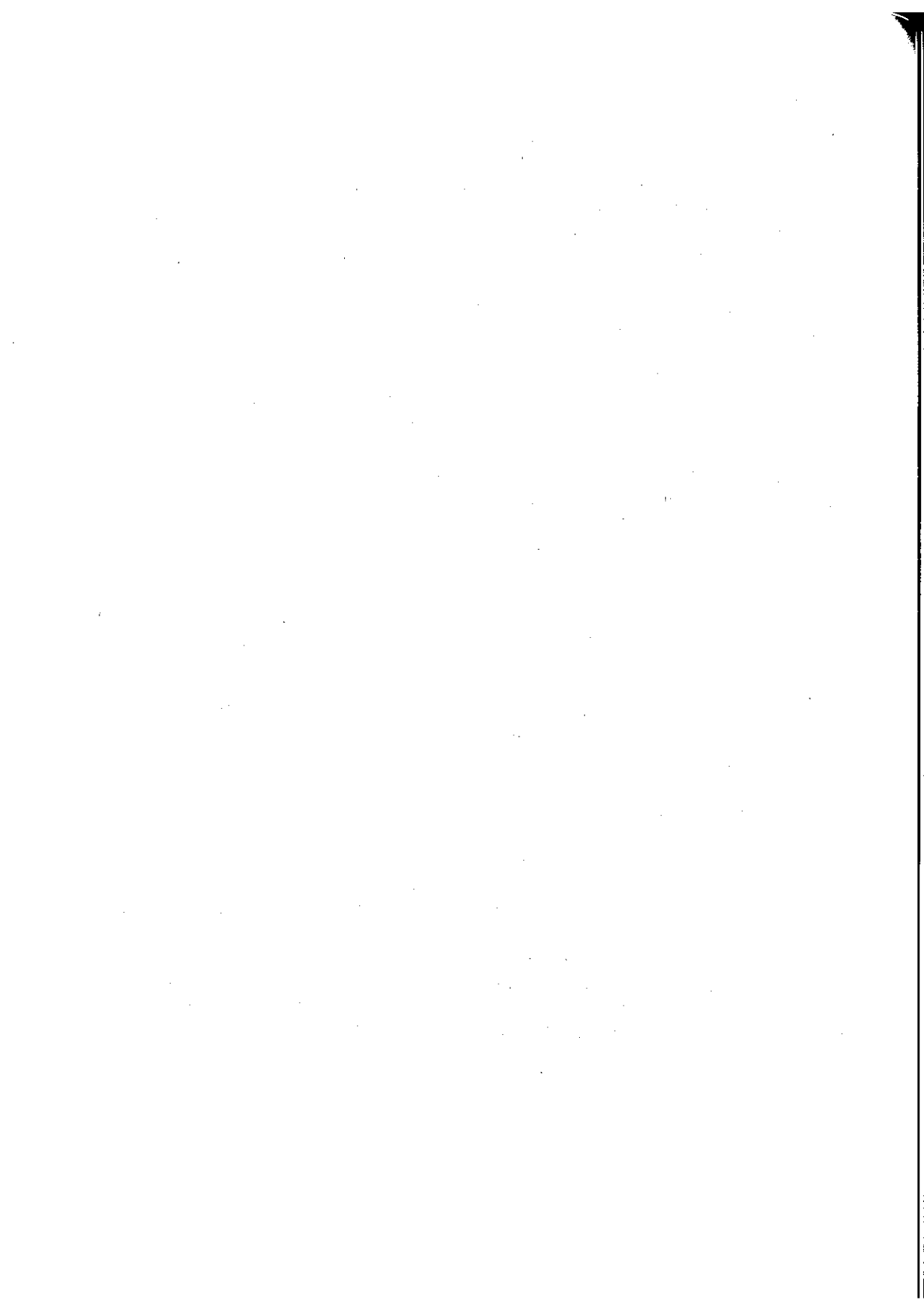
## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : утв. МЧС России 25 марта 2009 г. : ввод. в действие 1 мая 2009 г. — М. : Изд-во “Пожнаука”, 2009. — С. 575–617.
3. *Бесчастнов, М. В.* Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов / М. В. Бесчастнов. — М. : Химия, 1983.
4. *Корольченко, А. Я.* Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А. Я. Корольченко. — М. : Химия, 1986. — 216 с.
5. *Пчелинцев, В. А.* Оценка взрывопожароопасности производств, связанных с применением легковоспламеняющихся жидкостей в нагретом состоянии / В. А. Пчелинцев [и др.] // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева, 1985.
6. *Баратов, А. Н.* Категорирование объектов по пожаровзрывоопасности / А. Н. Баратов // Итоги науки и техники. Пожарная охрана : сб. науч. тр. — М. : ВИНТИ, 1985. — Т. 6. — С. 41–68.
7. *Баратов, А. Н.* Совершенствование системы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности / А. Н. Баратов, В. А. Пчелинцев, Е. В. Никонова // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — Т. 10, № 3. — С. 25–27.
8. *Земский, Г. Т.* Определение категорий помещений по пожаровзрывоопасности, в которых обращаются взаймореагирующие вещества / Г. Т. Земский, Л. П. Вогман, В. В. Масленников, В. А. Зуйков, В. А. Зенин // Пожаровзрывобезопасность. — 1993. — Т. 2, № 4. — С. 28–31.
9. *Шебеко, Ю. Н.* О принципе “максимального ожидаемого воздействия” при категорировании производственных помещений по взрывопожарной опасности / Ю. Н. Шебеко, А. Я. Корольченко, А. П. Шевчук // Пожаровзрывобезопасность. — 1992. — Т. 1, № 3. — С. 46–48.
10. *Шебеко, Ю. Н.* Роль испарения со свободной поверхности нагретых высокотемпературных теплоносителей в образовании взрывоопасных паровоздушных объемов / Ю. Н. Шебеко, А. Я. Корольченко, И. М. Смолин,



- В. Л. Малкин // Пожарная опасность веществ и технологических процессов : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1988. — С. 90–98.
11. *Смолин, И. М.* Закономерности испарения нагретых высокотемпературных органических теплоносителей со свободной поверхности / И. М. Смолин, Ю. Н. Шебеко, В. Л. Малкин, Э. Н. Алёхина // Обеспечение пожарной безопасности объектов защиты : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1989. — С. 86–91.
  12. *Корольченко, А. Я.* Пожарная опасность высокотемпературных теплоносителей / А. Я. Корольченко, Ю. Н. Шебеко, И. М. Смолин [и др.] // Химия и технология топлив и масел. — 1989. — № 12. — С. 36–37.
  13. *Корольченко, А. Я.* Обеспечение пожаровзрывобезопасности технологических процессов с применением высокотемпературных теплоносителей / А. Я. Корольченко, И. М. Смолин, Ю. Н. Шебеко, В. Л. Малкин // Химия и технология топлив и масел. — 1990. — № 4. — С. 33–34.
  14. *Корольченко, А. Я.* Оценка взрывопожароопасности производств с нагретыми высокотемпературными органическими теплоносителями / А. Я. Корольченко, Ю. Н. Шебеко, И. М. Смолин, В. Л. Малкин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — М. : ВИНТИ, 1990. — № 12. — С. 1–13.
  15. *Васюков, Г. В.* Образование взрывоопасных облаков при аварийном поступлении пропан-бутановых смесей в помещение / Г. В. Васюков, А. Я. Корольченко, В. В. Рубцов // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 6. — С. 39–42.
  16. *Васюков, Г. В.* К вопросу о категорировании помещений для хранения и технического обслуживания газобаллонных автомобилей / Г. В. Васюков, А. Я. Корольченко, В. В. Рубцов // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 1. — С. 25–29.
  17. *Васюков, Г. В.* Пожарная опасность газобаллонных автомобилей / Г. В. Васюков, А. Я. Корольченко, В. В. Рубцов // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 1. — С. 33–37.
  18. *Корольченко, А. Я.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с. ; Ч. II. — 774 с.
  19. Пособие по применению НПБ 105–95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации / Шебеко Ю. Н., Смолин И. М., Молчадский И. С. [и др.]. — М. : ВНИИПО, 1998. — 119 с.

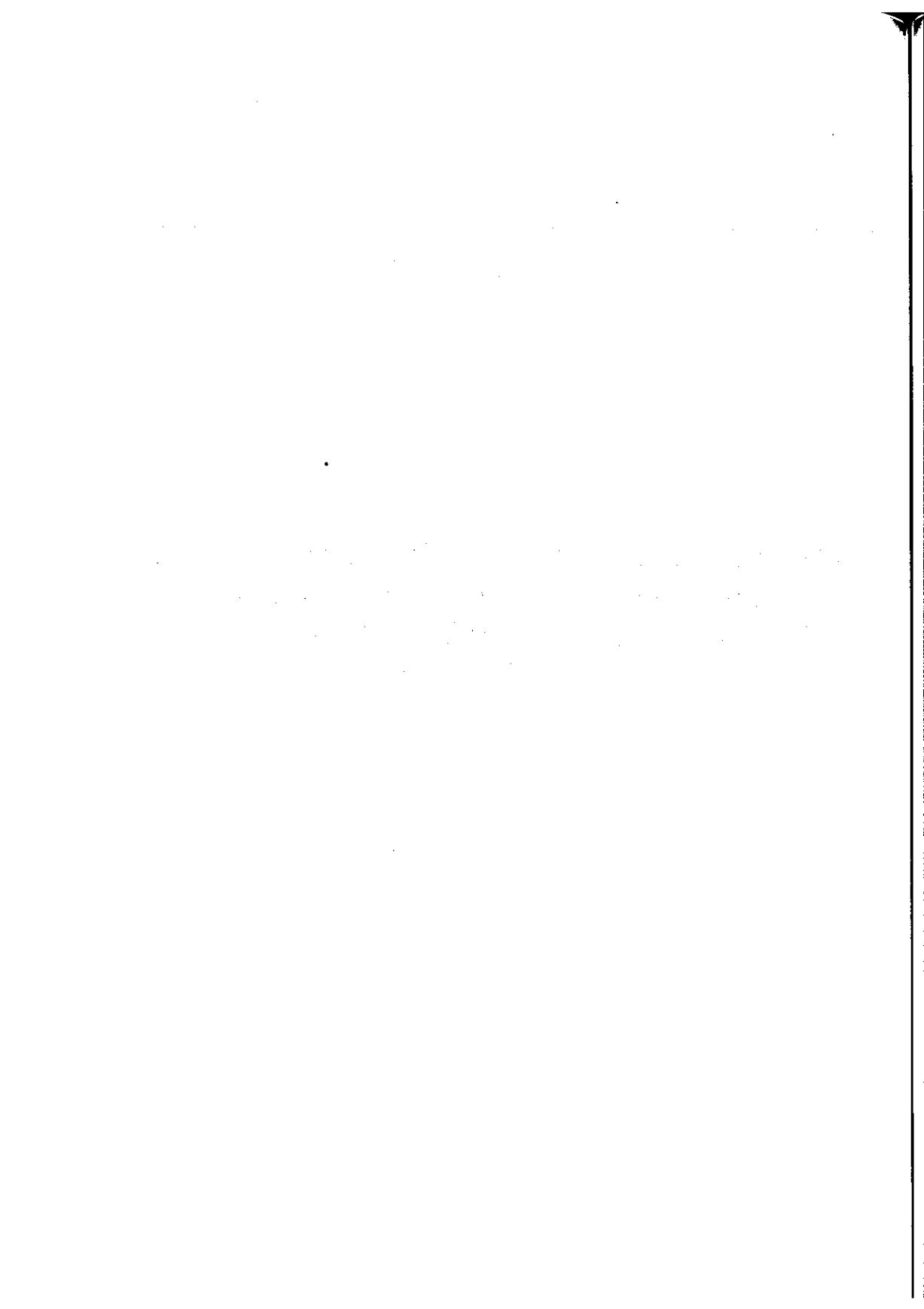


**СВОД ПРАВИЛ**

---

**СП 12.13130.2009**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ,  
ЗДАНИЙ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК  
ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ  
ОПАСНОСТИ**



## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения сводов правил — постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке разработки и утверждения сводов правил» от 19 ноября 2008 г. № 858.

## Сведения о своде правил

- 1 РАЗРАБОТАН ФГУ ВНИИПО МЧС России
- 2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 274 «Пожарная безопасность»
- 3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № №182
- 4 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии
- 5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (ФГУ ВНИИПО МЧС России) в сети Интернет.*

## Содержание

1 Область применения . . . . .	79
2 Нормативные ссылки . . . . .	80
3 Термины и определения . . . . .	80
4 Общие положения . . . . .	82
5 Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности . . . . .	82
6 Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности . . . . .	83
7 Категории наружных установок по пожарной опасности . . . . .	84
8 Оценка пожарного риска . . . . .	86
Приложение А (обязательное) Методы определения категорий помещений А и Б . . . . .	87
Приложение Б (обязательное) Методы определения категорий помещений В1–В4 . . . . .	96
Приложение В (обязательное) Методы расчета критериев пожарной опасности наружных установок . . . . .	99
Приложение Г (обязательное) Методика вычисления условной вероятности поражения человека . . . . .	111
Приложение Д (рекомендуемое) Расчетное определение коэффициента $Z$ участия в горении горючих газов и паров ненагретых легко-воспламеняющихся жидкостей . . . . .	114

---

**СВОД ПРАВИЛ**

---

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ, ЗДАНИЙ  
И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ  
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ****Determination of Categories of Rooms,  
Buildings and External Installations  
on Explosion and Fire Hazard**

---

Дата введения 2009–05–01

**1 Область применения**

1.1 Настоящий свод правил Разработан в соответствии со статьями 24, 25, 26, 27 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», является нормативным документом по пожарной безопасности в области стандартизации добровольного применения и устанавливает методы определения классификационных признаков отнесения зданий (или частей зданий между противопожарными стенами — пожарных отсеков), сооружений, строений и помещений (далее по тексту — зданий и помещений) производственного и складского назначения класса Ф5 к категориям по взрывопожарной и пожарной опасности, а также методы определения классификационных признаков категорий наружных установок производственного и складского назначения (далее по тексту — наружные установки) по пожарной опасности.

1.2 Классификация зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

Классификация наружных установок по пожарной опасности используется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара на наружных установках.

1.3 Настоящий свод правил не распространяется:

— на помещения и здания для производства и хранения взрывчатых веществ (далее — ВВ), средств инициирования ВВ, здания и сооружения, проектируемые по специальным нормам и правилам, утвержденным в установленном порядке;

— на наружные установки для производства и хранения ВВ, средств иницирования ВВ, наружные установки, проектируемые по специальным нормам и правилам, утвержденным в установленном порядке, а также на оценку уровня взрывоопасности наружных установок.

1.4 Настоящий свод правил может быть использован при разработке специальных технических условий при проектировании зданий, сооружений, строений и наружных установок.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующий стандарт:

ГОСТ 12.1.044-89\* Система стандартов безопасности труда. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

**Примечание** — При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем своде правил применяются следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 аварийная ситуация:** Ситуация, характеризующаяся вероятностью возникновения аварии с возможностью дальнейшего ее развития.

**3.2 взрыв паровоздушного облака:** Процесс сгорания горючей паровоздушной смеси в открытом пространстве с образованием волн давления.

**3.3 взрыв паровоздушной смеси в ограниченном объеме (резервуаре или производственном помещении):** Процесс сгорания образовавшейся в ограниченном объеме горючей паровоздушной смеси с повышением давления в этом объеме.

**3.4 взрыв резервуара с перегретой жидкостью при воздействии на него очага пожара:** Процесс разрушения резервуара при нагреве от очага пожара находящейся в резервуаре жидкости до температуры, превышающей нормальную температуру кипения, с дальнейшим взрывообразным вскипанием



жидкости. Процесс сопровождается образованием волн давления и, если жидкость горючая, «огненным шаром».

**3.5 взрывоопасная смесь:** Смесь воздуха или окислителя с горючими газами, парами легковоспламеняющихся жидкостей, горючими пылями или волокнами, которая при определенной концентрации и возникновении источника инициирования взрыва способна взорваться.

**3.6 время отключения (время срабатывания):** Промежуток времени от начала возможного поступления горючего вещества из трубопровода (перфорация, разрыв, изменение номинального давления и т. п.) до полного прекращения поступления газа или жидкости в помещение.

**3.7 категория пожарной (взрывопожарной) опасности объекта:** Классификационная характеристика пожарной (взрывопожарной) опасности здания (или частей здания между противопожарными стенами — пожарных отсеков), сооружения, строения, помещения, наружной установки.

**3.8 логическое дерево событий:** Графическое отражение общего характера развития возможных аварийных ситуаций и аварий с отражением причинно-следственной взаимосвязи событий в зависимости от специфики опасности объекта оценки риска с учетом влияния на них имеющихся защитных мероприятий.

**3.9 огненный шар:** Крупномасштабное диффузионное горение, реализуемое при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара.

**3.10 пожар в помещении:** Процесс диффузионного горения твердых, жидких и газообразных горючих веществ, находящихся в помещении, вызывающий прогрев строительных конструкций и технологического оборудования с возможной потерей ими несущей способности.

**3.11 проектная авария:** Авария, для предотвращения которой в проекте промышленного объекта предусмотрены системы обеспечения безопасности, гарантирующие обеспечение заданного уровня безопасности.

**3.12 пожарная нагрузка:** Количество теплоты, которое может выделиться в помещение при пожаре.

**3.13 размер зоны:** Протяженность ограниченной каким-либо образом части пространства.

**3.14 сценарий аварии:** Модель последовательности событий с определенной зоной воздействия опасных факторов пожара на людей, здания, сооружения и технологическое оборудование.

**3.15 удельная пожарная нагрузка:** Количество теплоты, которое может выделиться в помещение при пожаре, отнесенное к площади размещения находящихся в помещении горючих и трудногорючих веществ и материалов.

**3.16 частота реализации сценария аварии:** Частота возникновения и развития возможного сценария аварии в определенный период времени.

#### 4 Общие положения

4.1 По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г и Д, а здания — на категории А, Б, В, Г и Д.

По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории АН, БН, ВН, ГН и ДН.

4.2 Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

Категории наружных установок определяются исходя из пожароопасных свойств находящихся в установках горючих веществ и материалов, их количества и особенностей технологических процессов.

4.3 Определение пожароопасных свойств веществ и материалов производится на основании результатов испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния (давления, температуры и т. д.).

Допускается использование официально опубликованных справочных данных по пожароопасным свойствам веществ и материалов.

Допускается использование показателей пожарной опасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

#### 5 Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

5.1 Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожаро- опасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б взрывопожаро- опасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа

## Окончание таблицы 1

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
В1–В4 пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии
<p><b>Примечания:</b></p> <p>1 Методы определения категорий помещений А и Б устанавливаются в соответствии с приложением А.</p> <p>2 Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку. Разделение помещений на категории В1–В4 регламентируется положениями в соответствии с приложением Б.</p>	

5.2 Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в таблице 1, от наиболее опасной (А) к наименее опасной (Д).

## 6 Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

6.1 Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности определяются исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании.

6.2 Здание относится к категории А, если в нем суммированная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

6.3 Здание не относится к категории А, если суммированная площадь помещений категории А в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

6.4 Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены следующие условия: здание не относится к категории А и суммированная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % суммированной площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

6.5 Здание не относится к категории Б, если суммированная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

6.6 Здание относится к категории В, если одновременно выполнены следующие условия: здание не относится к категории А или Б и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2 и В3 превышает 5 % (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммированной площади всех помещений.

6.7 Здание не относится к категории В, если суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2 и В3 в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

6.8 Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены следующие условия: здание не относится к категории А, Б или В и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г превышает 5 % суммированной площади всех помещений.

6.9 Здание не относится к категории Г, если суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>) и помещения категорий А, Б, В1, В2 и В3 оснащаются установками автоматического пожаротушения.

6.10 Здание относится к категории Д, если оно не относится к категории А, Б, В или Г.

## 7 Категории наружных установок по пожарной опасности

7.1 Категории наружных установок по пожарной опасности принимаются в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 — Категории наружных установок по пожарной опасности

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории по пожарной опасности
АН повышенная взрывопожаро- опасность	Установка относится к категории АН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)

## Окончание таблицы 2

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории по пожарной опасности
БН взрывопожаро- опасность	Установка относится к категории БН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие пыли и (или) волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании пыле- и (или) паровоздушных смесей с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ВН пожароопасность	Установка относится к категории ВН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие и (или) трудногорючие жидкости, твердые горючие и (или) трудногорючие вещества и (или) материалы (в том числе пыли и (или) волокна), вещества и (или) материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом гореть, и если не реализуются критерии, позволяющие отнести установку к категории АН или БН (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ и (или) материалов превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ГН умеренная пожароопасность	Установка относится к категории ГН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) негорючие вещества и (или) материалы в горячем, раскаленном и (или) расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и (или) пламени, а также горючие газы, жидкости и (или) твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
ДН пониженная пожароопасность	Установка относится к категории ДН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и (или) материалы в холодном состоянии и если по перечисленным выше критериям она не относится к категории АН, БН, ВН или ГН

7.2 Определение категорий наружных установок следует осуществлять путем последовательной проверки их принадлежности к категориям, приведенным в таблице 2, от наиболее опасной (АН) к наименее опасной (ДН).

7.3 В случае, если из-за отсутствия данных представляется невозможным оценить величину пожарного риска, допускается использование вместо нее следующих критериев.

Для категорий АН и БН:

— горизонтальный размер зоны, ограничивающей газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) по ГОСТ 12.1.044, превышает 30 м (данный критерий применяется только для горючих газов и паров) и (или) расчетное избыточное давление при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.

Для категории ВН:

— интенсивность теплового излучения от очага пожара веществ и (или) материалов, указанных для категории ВН, на расстоянии 30 м от наружной установки превышает  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Горизонтальные размеры зон, ограничивающих газопаровоздушные смеси с концентрацией горячего выше НКПР, определяются в соответствии с приложением В.

Интенсивность теплового излучения от очага пожара определяется в соответствии с Приложением В.

## 8 Оценка пожарного риска

8.1 Пожарный риск  $P(a)$  ( $\text{год}^{-1}$ ) в определенной точке территории ( $a$ ) на расстоянии 30 м от наружной установки определяют с помощью соотношения

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) Q_j, \quad (1)$$

где  $J$  — число сценариев развития аварий, возможных на наружной установке;  
 $Q_{dj}(a)$  — условная вероятность поражения человека в определенной точке территории ( $a$ ) в результате реализации  $j$ -го сценария развития аварии, отвечающего определенному иницирующему аварии событию;  
 $Q_j$  — частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития аварии,  $\text{год}^{-1}$ .

8.2 Сценарии развития пожароопасных аварийных ситуаций и аварий рассматриваются на основе построения логического дерева событий. Число возможных сценариев развития аварий определяется по результатам анализа возможных на наружной установке аварийных ситуаций и аварий.

8.3 Условные вероятности поражения человека  $Q_{dj}(a)$  определяют по значениям пробит-функций и на основе соотношений в соответствии с приложением Г.

Условную вероятность поражения человека  $Q_{dj}(a)$  от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации  $j$ -го сценария развития аварии определяют по соотношению

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_k Q_{djk}(a)), \quad (2)$$

где  $h$  — число рассматриваемых опасных факторов пожара;  
 $Q_k$  — вероятность реализации  $k$ -го опасного фактора пожара;  
 $Q_{djk}(a)$  — условная вероятность поражения  $k$ -м опасным фактором пожара.

8.4 Частоты реализации сценариев развития аварий определяют по статистическим данным и (или) на основе методик, изложенных в нормативных документах. Допускается использовать расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике наружной установки.

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ А И Б****А.1 Выбор и обоснование расчетного варианта**

А.1.1 При расчете критериев взрывопожарной опасности в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо-, паро-, пылевоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей.

А.1.2 Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовывать горючие газозоодушные, паровоздушные, пылевоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчетная авария одного из аппаратов согласно А.1.1;
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат, по прямому и обратному потокам в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов определяют в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки, и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;
- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;
- 300 с при ручном отключении;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных), исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей — на 1 м<sup>2</sup> пола помещения;

д) происходит также испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежеекрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

А.1.3 Количество пыли, которое может образовать пылевоздушную смесь, определяется из следующих предпосылок:

а) расчетной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыделения из негерметичного производственного оборудования);

б) в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

А.1.4 Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно, равным 80 % геометрического объема помещения.

## А.2 Расчет избыточного давления для горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

А.2.1 Избыточное давление  $\Delta P$  для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св} \rho_{г,п}} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K_n}, \quad (\text{А.1})$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным в соответствии с требованиями п. 4.3. При отсутствии данных допускается принимать  $P_{\max}$  равным 900 кПа;

$P_0$  — начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  
 $m$  — масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), вышедших в результате расчетной аварии в помещение, вычисляемая для ГГ по формуле (А.6), а для паров ЛВЖ и ГЖ — по формуле (А.11), кг;

$Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения согласно приложению Д. Допускается принимать значение  $Z$  по таблице А.1;

$V_{св}$  — свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho_{г,п}$  — плотность газа или пара при расчетной температуре  $t_p$ , кг · м<sup>-3</sup>, вычисляемая по формуле



$$\rho_{z,n} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367 t_p)}, \quad (\text{A.2})$$

где  $M$  — молярная масса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;  
 $V_0$  — мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;  
 $t_p$  — расчетная температура, °С.

В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры  $t_p$  по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61 °С;

$C_{cm}$  — стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % (объемных), вычисляемая по формуле

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (\text{A.3})$$

где  $\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}$  — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания;

$n_C, n_H, n_O, n_X$  — число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего;  
 $K_n$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать  $K_n$  равным трем.

Таблица А.1 — Значение коэффициента  $Z$  участия горючих газов и паров в горении

Вид горючего вещества	Значение $Z$
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

А.2.2 Расчет  $\Delta P$  для индивидуальных веществ, кроме упомянутых в А.2.1, а также для смесей может быть выполнен по формуле

$$\Delta P = \frac{m H_m P_0 Z}{V_{св} \rho_v C_p T_0} \frac{1}{K_n}, \quad (\text{A.4})$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$\rho_a$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг · м<sup>-3</sup>;

$C_p$  — теплоемкость воздуха, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup> (допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>);

$T_0$  — начальная температура воздуха, К.

А.2.3 В случае обращения в помещении горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при определении массы  $m$ , входящей в формулы (А.1) и (А.4), допускается учитывать работу аварийной вентиляции, если она обеспечена резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электроснабжением по первой категории надежности по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), при условии расположения устройств для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии.

Допускается учитывать постоянно работающую общеобменную вентиляцию, обеспечивающую концентрацию горючих газов и паров в помещении, не превышающую предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию, рассчитанную для аварийной вентиляции. Указанная общеобменная вентиляция должна быть оборудована резервными вентиляторами, включающимися автоматически при остановке основных. Электроснабжение указанной вентиляции должно осуществляться не ниже чем по первой категории надежности по ПУЭ.

При этом массу  $m$  горючих газов или паров легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше, поступивших в объем помещения, следует разделить на коэффициент  $K$ , определяемый по формуле

$$K = AT + 1, \quad (\text{А.5})$$

где  $A$  — кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с<sup>-1</sup>;  
 $T$  — продолжительность поступления горючих газов и паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в объем помещения, с (принимается по А.1.2).

А.2.4 Масса  $m$ , кг, поступившего в помещение при расчетной аварии газа определяется по формуле

$$m = (V_a + V_m) \rho_g, \quad (\text{А.6})$$

где  $V_a$  — объем газа, вышедшего из аппарата, м<sup>3</sup>;

$V_m$  — объем газа, вышедшего из трубопроводов, м<sup>3</sup>.

При этом

$$V_a = 0,01 P_1 V, \quad (\text{А.7})$$

где  $P_1$  — давление в аппарате, кПа;

$V$  — объем аппарата, м<sup>3</sup>;

$$V_m = V_{1m} + V_{2m}, \quad (\text{A.8})$$

где  $V_{1m}$  — объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения,  $\text{м}^3$ ;  
 $V_{2m}$  — объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения,  $\text{м}^3$ ;  
 $V_{1m} = qT,$  (A.9)

где  $q$  — расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д.,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  
 $T$  — время, определяемое по А.1.2, с;

$$V_{2m} = 0,01 \pi P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n), \quad (\text{A.10})$$

где  $P_2$  — максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа;

$r_{1,2,\dots,n}$  — внутренний радиус трубопроводов, м;

$L_{1,2,\dots,n}$  — длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

А.2.5 Массы паров жидкости  $m$ , поступивших в помещение при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесенным составом, открытые емкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{\text{емк}} + m_{\text{св.окр}}, \quad (\text{A.11})$$

где  $m_p$  — масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{\text{емк}}$  — масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг;

$m_{\text{св.окр}}$  — масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг.

При этом каждое из слагаемых в формуле (А.11) определяется по формуле

$$m = W F_u T, \quad (\text{A.12})$$

где  $W$  — интенсивность испарения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_u$  — площадь испарения,  $\text{м}^2$ , определяемая в соответствии с А.1.2 в зависимости от массы жидкости  $m_n$ , вышедшей в помещение.

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распыленном состоянии, то она должна быть учтена в формуле (А.11) введением дополнительного слагаемого, учитывающего общую массу поступившей жидкости от распыляющих устройств, исходя из продолжительности их работ.

А.2.6 Массу  $m_n$ , кг, вышедшей в помещение жидкости определяют в соответствии с А.1.2.

А.2.7 Интенсивность испарения  $W$  определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше расчетной температуры (окружающей среды) ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} \cdot P_n, \quad (\text{A.13})$$

где  $\eta$  — коэффициент, принимаемый по таблице А.2 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;  
 $P_n$  — давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости  $t_p$ , определяемое по справочным данным, кПа.

Таблица А.2 — Значение коэффициента  $\eta$  в зависимости от скорости и температуры воздушного потока

Скорость воздушного потока в помещении, м · с <sup>-1</sup>	Значение коэффициента $\eta$ при температуре $t$ , °С, воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

А.2.8 Масса паров  $m$ , кг, при испарении жидкости, нагретой выше расчетной температуры, но не выше температуры кипения жидкости, определяется по соотношению

$$m = 0,02 \sqrt{M} \cdot P_n \frac{C_{жс} m_n}{L_{исп}}, \quad (\text{A.14})$$

где  $C_{жс}$  — удельная теплоемкость жидкости при начальной температуре испарения, Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$L_{исп}$  — удельная теплота испарения жидкости при начальной температуре испарения, определяемая по справочным данным, Дж · кг<sup>-1</sup>.

При отсутствии справочных данных допускается рассчитывать  $L_{исп}$  по формуле

$$L_{исп} = \frac{19,173 \cdot 10^3 B T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 M}, \quad (\text{A.15})$$

где  $B$ ,  $C_a$  — константы уравнения Антуана, определяемые по справочным данным для давления насыщенных паров, измеряемого в кПа;

$T_a$  — начальная температура нагретой жидкости, К;

$M$  — молярная масса жидкости, кг · кмоль<sup>-1</sup>.

Формулы (А.14) и (А.15) справедливы для жидкостей, нагретых от температуры вспышки и выше при условии, что температура вспышки жидкости превышает значение расчетной температуры.

### А.3 Расчет избыточного давления взрыва для горючих пылей

А.3.1 Расчет избыточного давления  $\Delta P$ , кПа, производится по формуле (А.4), где коэффициент  $Z$  участия взвешенной пыли в горении рассчитывают по формуле

$$Z = 0,5F, \quad (\text{А.16})$$

где  $F$  — массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого взрывзвесь становится неспособной распространять пламя. В отсутствие возможности получения сведений для оценки величины  $F$  допускается принимать  $F = 1$ .

А.3.2 Расчетную массу взвешенной в объеме помещения пыли  $m$ , кг, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяют по формуле

$$m = \min \left\{ m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}, \rho_{\text{ст}} V_{\text{ав}} / Z \right\}, \quad (\text{А.17})$$

где  $m_{\text{вз}}$  — расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$m_{\text{ав}}$  — расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;

$\rho_{\text{ст}}$  — стехиометрическая концентрация горючей пыли в взрывзвеси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$V_{\text{ав}}$  — расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объеме помещения,  $\text{м}^3$ .

В отсутствие возможности получения сведений для расчета  $V_{\text{ав}}$  допускается принимать

$$m = m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}. \quad (\text{А.18})$$

А.3.3 Расчетную массу взвихрившейся пыли  $m_{\text{вз}}$  определяют по формуле

$$m_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} m_n, \quad (\text{А.19})$$

где  $K_{\text{вз}}$  — доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. При отсутствии экспериментальных сведений о  $K_{\text{вз}}$  допускается принимать  $K_{\text{вз}} = 0,9$ ;

$m_n$  — масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг.

А.3.4 Расчетную массу пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации,  $m_{\text{ав}}$  определяют по формуле

$$m_{\text{ав}} = (m_{\text{ан}} + qT)K_n, \quad (\text{А.20})$$

где  $m_{\text{ан}}$  — масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, кг;

$q$  — производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$T$  — время отключения, определяемое по А.1.2 (в), с;

$K_n$  — коэффициент пыления, представляющий собой отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение. При отсутствии экспериментальных данных о  $K_n$  допускается принимать:

—  $K_n = 0,5$  — для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм;

—  $K_n = 1,0$  — для пылей с дисперсностью менее 350 мкм.

Величину  $m_{ан}$  принимают в соответствии с А.1.1 и А.1.3.

А.3.5 Массу отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяют по формуле

$$m_n = \frac{K_z}{K_y} (m_1 + m_2), \quad (\text{A.21})$$

где  $K_z$  — доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

$K_y$  — коэффициент эффективности пылеуборки. Принимают равным 0,6 при сухой и 0,7 — при влажной пылеуборке (ручной). При механизированной вакуумной пылеуборке для ровного пола  $K_y$  принимают равным 0,9, для пола с выбоинами (до 5 % площади) — 0,7;

$m_1$  — масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг;

$m_2$  — масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими уборками, кг.

Под труднодоступными для уборки площадями подразумевают такие поверхности в производственных помещениях, очистка которых осуществляется только при генеральных пылеуборках. Доступными для уборки местами являются поверхности, пыль с которых удаляется в процессе текущих пылеуборок (ежесменно, ежесуточно и т. п.).

А.3.6 Масса пыли  $m_i$  ( $i = 1; 2$ ), оседающей на различных поверхностях в помещении за межуборочный период, определяется по формуле

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i, \quad (i = 1; 2), \quad (\text{A.22})$$

где  $M_1 = \sum_j M_{1j}$  — масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между генеральными пылеуборками, кг;

$M_{1j}$  — масса пыли, выделяемая единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;

$M_2 = \sum_j M_{2j}$  — масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между текущими пылеуборками, кг;

$M_{2j}$  — масса пыли, выделяемая единицей пылящего оборудования за указанный период, кг;

$\alpha$  — доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. При отсутствии экспериментальных данных о величине  $\alpha$  полагают  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  — доли выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей соответственно на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях помещения ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

При отсутствии сведений о коэффициентах  $\beta_1$  и  $\beta_2$  допускается принимать  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ .

А.3.7  $M_i$  ( $i = 1; 2$ ) могут быть также определены экспериментально (или по аналогии с действующими образцами производств) в период максимальной загрузки оборудования по формуле

$$M_i = \sum (G_{ij} F_{ij}) \tau_i, \quad (i = 1; 2) \quad (\text{А.23})$$

где  $G_{1j}, G_{2j}$  — интенсивность пылеотложений соответственно на труднодоступных  $F_{1j}$  ( $\text{м}^2$ ) и доступных  $F_{2j}$  ( $\text{м}^2$ ) площадях,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  — промежуток времени соответственно между генеральными и текущими пылеуборками, с.

#### А.4 Определение избыточного давления для смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли

Расчетное избыточное давление  $\Delta P$  для гибридных смесей, содержащих горючие газы (пары) и пыли, определяется по формуле

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (\text{А.24})$$

где  $\Delta P_1$  — избыточное давление, вычисленное для горючего газа (пара) в соответствии с А.2.1 и А.2.2;

$\Delta P_2$  — избыточное давление, вычисленное для горючей пыли в соответствии с А.3.1.

#### А.5 Определение избыточного давления для веществ и материалов, способных сгорать при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом с образованием волн давления

Расчетное избыточное давление  $\Delta P$  для веществ и материалов, способных сгорать при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, определяют по А.2.2, полагая  $Z = 1$  и принимая в качестве  $H_m$  энергию, выделяющуюся при взаимодействии (с учетом сгорания продуктов взаимодействия до конечных соединений), или экспериментально в натуральных испытаниях. В случае, когда определить величину  $\Delta P$  не представляется возможным, следует принимать ее превышающей 5 кПа.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ В1–В4

Б.1 Определение категорий помещений В1–В4 осуществляют путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки (далее — пожарная нагрузка) на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в таблице Б.1.

Таблица Б.1 — Удельная пожарная нагрузка и способы размещения для категорий В1–В4

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка $g$ на участке, МДж · м <sup>-2</sup>	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется
В2	1401–2200	В соответствии с п. Б.2
В3	181–1400	В соответствии с п. Б.2
В4	1–180	На любом участке пола помещения площадь каждого из участков пожарной нагрузки не более 10 м <sup>2</sup> . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно Б.2

Б.2 При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) легковоспламеняющихся, горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка пожарная нагрузка  $Q$ , МДж, определяется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{ni}^p, \quad (\text{Б.1})$$

где  $G_i$  — количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{ni}^p$  — низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж · кг<sup>-1</sup>.

Удельная пожарная нагрузка  $g$ , МДж · м<sup>-2</sup>, определяется из соотношения

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (\text{Б.2})$$

где  $S$  — площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup> (но не менее 10 м<sup>2</sup>).

В помещениях категорий В1–В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведенных в таб-



лице Б.1. В помещениях категории В4 расстояния между этими участками должны быть более предельных. В таблице Б.2 приведены рекомендуемые значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$ , кВт · м<sup>-2</sup>, для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов. Значения  $l_{пр}$ , приведенные в таблице Б.2, рекомендуются при условии, если  $H > 11$  м; если  $H < 11$  м, то предельное расстояние определяется как  $l = l_{пр} + (11 - H)$ , где  $l_{пр}$  — определяется из таблицы Б.2,  $H$  — минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

Таблица Б.2 — Значения предельных расстояний  $l_{пр}$  в зависимости от критической плотности падающих лучистых потоков  $q_{кр}$

$q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup>	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{пр}$ , м	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки приведены в таблице Б.3.

Таблица Б.3 — Значения  $q_{кр}$  для некоторых материалов пожарной нагрузки

Материал	$q_{кр}$ , кВт · м <sup>-2</sup>
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг · м <sup>-3</sup> )	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0

Если пожарная нагрузка состоит из различных материалов, то  $q_{кр}$  определяется по материалу с минимальным  $q_{кр}$ .

Для материалов пожарной нагрузки с неизвестными  $q_{кр}$  предельные расстояния принимаются  $l_{пр} \geq 12$  м.

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ или ГЖ, расстояние  $l_{np}$  между соседними участками размещения (разлива) пожарной нагрузки допускается рассчитывать по формулам:

$$l_{np} \geq 15 \text{ м} \quad \text{при } H \geq 11 \text{ м}, \quad (\text{Б.3})$$

$$l_{np} \geq 26 - H \quad \text{при } H < 11 \text{ м}. \quad (\text{Б.4})$$

Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки  $Q$ , определенное по формуле (Б.2), отвечает неравенству

$$Q \geq 0,64 g_m H^2, \quad (\text{Б.5})$$

то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно.

Здесь  $g_m = 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $1401 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $g_m = 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $181 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2} \leq g \leq 1400 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  и  $g_m = 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  при  $0 < g \leq 180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ .

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КРИТЕРИЕВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ  
НАРУЖНЫХ УСТАНОВОКВ.1 Методы расчета критериев пожарной опасности  
для горючих газов и паров

В.1.1 При невозможности расчета пожарного риска выбор расчетного варианта следует осуществлять с учетом годовой частоты реализации и последствий тех или иных аварий. В качестве расчетного для вычисления критериев пожарной опасности наружных установок, в которых находятся (обращаются) горючие газы, пары, следует принимать вариант аварии, для которого произведение годовой частоты реализации этого варианта  $Q_w$  и расчетного избыточного давления  $\Delta P$  при сгорании газо-, паровоздушных смесей в случае реализации указанного варианта максимально, то есть:

$$G = Q_w \Delta P = \max. \quad (B.1)$$

Расчет величины  $G$  производится в следующей последовательности:

а) рассматриваются различные варианты аварий и из статистических данных или на основе годовой частоты аварий со сгоранием газо-, паровоздушных смесей определяются  $Q_{wi}$  для этих вариантов;

б) для каждого из рассматриваемых вариантов определяются по изложенной ниже методике значения расчетного избыточного давления  $\Delta P_i$ ;

в) вычисляются величины  $G_i = Q_{wi} \Delta P_i$  для каждого из рассматриваемых вариантов аварии, среди которых выбирается вариант с наибольшим значением  $G_i$ ;

г) в качестве расчетного для определения критериев пожарной опасности принимается вариант, в котором величина  $G_i$  максимальна. При этом количество горючих газов, паров, вышедших в атмосферу, рассчитывается исходя из рассматриваемого сценария аварии с учетом В.1.3–В.1.9.

В.1.2 При невозможности реализации метода по В.1.1 в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо-, паровоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей. В этом случае количество газов, паров, вышедших в атмосферу, рассчитывается в соответствии с В.1.3–В.1.9.

В случае, если использование расчетных методов не представляется возможным, допускается определение значений критериев пожарной опасности

на основании результатов соответствующих научно-исследовательских работ, согласованных и утвержденных в установленном порядке.

В.1.3 Количество поступивших веществ, которые могут образовывать горючие газозвоздушные, паровоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

а) происходит расчетная авария одного из аппаратов согласно В.1.1 или В.1.2 (в зависимости от того, какой из подходов к определению расчетного варианта аварии принят за основу);

б) все содержимое аппарата поступает в окружающее пространство;

в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов определяется в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки, и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

— времени срабатывания систем автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов (но не более 120 с);

— 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

— 300 с при ручном отключении.

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на горизонтальную поверхность определяется (при отсутствии справочных или иных экспериментальных данных) исходя из расчета, что 1 литр смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,10 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей — на 0,15 м<sup>2</sup>;

д) происходит также испарение жидкостей из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежескрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

В.1.4 Масса газа  $m$ , кг, поступившего в окружающее пространство при расчетной аварии, определяется по формуле

$$m = (V_a + V_m) \rho_g, \quad (\text{В.2})$$

где  $V_a$  — объем газа, вышедшего из аппарата, м<sup>3</sup>;

$V_m$  — объем газа, вышедшего из трубопровода, м<sup>3</sup>;

$\rho_g$  — плотность газа, кг · м<sup>-3</sup>.

При этом

$$V_a = 0,01 P_1 V, \quad (B.3)$$

где  $P_1$  — давление в аппарате, кПа;  
 $V$  — объем аппарата, м<sup>3</sup>;

$$V_m = V_{1m} + V_{2m}, \quad (B.4)$$

где  $V_{1m}$  — объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м<sup>3</sup>;  
 $V_{2m}$  — объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м<sup>3</sup>;

$$V_{1m} = q T, \quad (B.5)$$

где  $q$  — расход газа, определяемый по технологическому регламенту в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д., м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>;  
 $T$  — время, определяемое по В.1.3, с;

$$V_{2m} = 0,01 \pi P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n), \quad (B.6)$$

где  $P_2$  — максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа;

$r$  — внутренний радиус трубопроводов, м;

$L$  — длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

В.1.5 Масса паров жидкости  $m$ , кг, поступивших в окружающее пространство при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, поверхность со свеженанесенным составом, открытые емкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{емк} + m_{св.окр} + m_{пер}, \quad (B.7)$$

где  $m_p$  — масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{емк}$  — масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг;

$m_{св.окр}$  — масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг;

$m_{пер}$  — масса жидкости, испарившейся в окружающее пространство в случае ее перегрева, кг.

При этом каждое из слагаемых ( $m_p$ ,  $m_{емк}$ ,  $m_{св.окр}$ ) в формуле (B.7) определяют из выражения

$$m = W F_u T, \quad (B.8)$$

где  $W$  — интенсивность испарения, кг · с<sup>-1</sup> · м<sup>-2</sup>;

$F_u$  — площадь испарения, м<sup>2</sup>, определяемая в соответствии с В.1.3 в зависимости от массы жидкости  $m_n$ , вышедшей в окружающее пространство;

$T$  — продолжительность поступления паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в окружающее пространство согласно В.1.3, с.

Величину  $m_{пер}$  определяют по формуле (при  $T_a > T_{кин}$ )

$$m_{пер} = \min \left[ 0,8m_n; \frac{2C_p(T_a - T_{кин})}{L_{исп}} m_n \right], \quad (B.9)$$

где  $m_n$  — масса вышедшей перегретой жидкости, кг;

$C_p$  — удельная теплоемкость жидкости при температуре перегрева жидкости  $T_a$ , Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>;

$T_a$  — температура перегретой жидкости в соответствии с технологическим регламентом в технологическом аппарате или оборудовании, К;

$T_{кин}$  — нормальная температура кипения жидкости, К;

$L_{исп}$  — удельная теплота испарения жидкости при температуре перегрева жидкости  $T_a$ , Дж · кг<sup>-1</sup>.

Если аварийная ситуация связана с возможным поступлением жидкости в распыленном состоянии, то она должна быть учтена в формуле (В.7) введением дополнительного слагаемого, учитывающего общую массу поступившей жидкости от распыляющих устройств, исходя из продолжительности их работы.

В.1.6 Масса  $m_n$  вышедшей жидкости, кг, определяют в соответствии с В.1.3.

В.1.7 Интенсивность испарения  $W$  определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше расчетной температуры (окружающей среды) ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать  $W$  по формуле

$$W = 10^{-6} \sqrt{M} \cdot P_n, \quad (B.10)$$

где  $M$  — молярная масса, кг · кмоль<sup>-1</sup>;

$P_n$  — давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, определяемое по справочным данным, кПа.

В.1.8 Масса паров жидкости, нагретой выше расчетной температуры, но не выше температуры кипения жидкости, определяется в соответствии с А.2.8 (приложение А).

В.1.9 Для сжиженных углеводородных газов (СУГ) при отсутствии данных допускается рассчитывать удельную массу испарившегося СУГ  $m_{СУГ}$  из пролива, кг · м<sup>-2</sup>, по формуле

$$m_{СУГ} = \frac{M}{L_{исп}} (T_0 - T_{жс}) \left( 2\lambda_{та} \sqrt{\frac{t}{\pi a}} + \frac{5,1\sqrt{Re} \cdot \lambda_e t}{d} \right), \quad (B.11)$$

где  $M$  — молярная масса СУГ, кг·моль<sup>-1</sup>;

$L_{исп}$  — молярная теплота испарения СУГ при начальной температуре СУГ

$T_{ж}$ , Дж·моль<sup>-1</sup>;

$T_0$  — начальная температура материала, на поверхность которого разливается СУГ, К;

$T_{ж}$  — начальная температура СУГ, К;

$\lambda_{мс}$  — коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$a = \frac{\lambda_{мс}}{C_{мс} \rho_{мс}}$  — коэффициент температуропроводности материала, на по-

верхность которого разливается СУГ, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$C_{мс}$  — теплоемкость материала, на поверхность которого разливается СУГ, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$\rho_{мс}$  — плотность материала, на поверхность которого разливается СУГ, кг·м<sup>-3</sup>;

$t$  — текущее время, с, принимаемое равным времени полного испарения СУГ, но не более 3600 с;

$Re = \frac{Ud}{\nu_{\theta}}$  — число Рейнольдса;

$U$  — скорость воздушного потока, м·с<sup>-1</sup>;

$d = \sqrt{4F_u/\pi}$  — характерный размер пролива СУГ, м;

$\nu_{\theta}$  — кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$\lambda_{\theta}$  — коэффициент теплопроводности воздуха, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Формула (В.11) справедлива для СУГ с температурой  $T_{ж} \leq T_{кин}$ . При температуре СУГ  $T_{ж} > T_{кин}$  дополнительно рассчитывается масса перегретых СУГ  $m_{пер}$  по формуле (В.9).

## В.2 Расчет горизонтальных размеров зон, ограничивающих газо- и паровоздушные смеси с концентрацией горючего выше НКПР, при аварийном поступлении горючих газов и паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей в открытое пространство

В.2.1 Горизонтальные размеры зоны  $R_{НКПР}$ , м, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени ( $C_{НКПР}$ ) по ГОСТ 12.1.044, вычисляются по формулам:

— для горючих газов (ГГ):

$$R_{НКПР} = 14,5632 \left( \frac{m_{г}}{\rho_{г} C_{НКПР}} \right)^{0,333}; \quad (В.12)$$

— для паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ):

$$R_{НКПР} = 3,1501\sqrt{K} \left( \frac{P_n}{C_{НКПР}} \right)^{0,813} \left( \frac{m_n}{\rho_n P_n} \right)^{0,333}; \quad (\text{В.13})$$

$$\rho_{z,n} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367 t_p)},$$

где  $m_z$  — масса поступивших в открытое пространство ГГ при аварийной ситуации, кг;

$\rho_z$  — плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг · м<sup>-3</sup>;

$C_{НКПР}$  — нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров ЛВЖ, % (об.);

$K$  — коэффициент, принимаемый равным  $K = T/3600$  для ЛВЖ;

$m_n$  — масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 3600 с, кг;

$\rho_n$  — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг · м<sup>-3</sup>;

$P_n$  — давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа;

$T$  — продолжительность поступления паров ЛВЖ в открытое пространство, с;

$M$  — молярная масса, кг · кмоль<sup>-1</sup>;

$V_0$  — мольный объем, равный 22,413 м<sup>3</sup> · кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  — расчетная температура, °С. В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в соответствующей климатической зоне или максимальную возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры  $t_p$  по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61 °С.

В.2.2 За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п. Во всех случаях значение  $R_{НКПР}$  должно быть не менее 0,3 м для ГГ и ЛВЖ.

### В.3 Расчет избыточного давления и импульса волны давления при сгорании смесей горючих газов и паров с воздухом в открытом пространстве

В.3.1 Исходя из рассматриваемого сценария аварии, определяют массу  $m$ , кг, горючих газов и (или) паров, вышедших в атмосферу из технологического аппарата, в соответствии с В.1.3–В.1.9.

В.3.2 Избыточное давления  $\Delta P$ , кПа, развиваемое при сгорании газопаровоздушных смесей, рассчитывают по формуле



$$\Delta P = P_0 \left( \frac{0,8 m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 m_{np}}{r^3} \right), \quad (\text{В.14})$$

где  $P_0$  — атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  
 $r$  — расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м;  
 $m_{np}$  — приведенная масса газа или пара, кг, рассчитанная по формуле

$$m_{np} = \frac{Q_{ce}}{Q_0} m Z, \quad (\text{В.15})$$

где  $Q_{ce}$  — удельная теплота сгорания газа или пара, Дж · кг<sup>-1</sup>;  
 $Z$  — коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который допускается принимать равным 0,1;  
 $Q_0$  — константа, равная 4,52 · 10<sup>6</sup> Дж · кг<sup>-1</sup>;  
 $m$  — масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

В.3.3 Импульс волны давления  $i$ , Па · с, рассчитывают по формуле

$$i = \frac{123 m_{np}^{0,66}}{r}. \quad (\text{В.16})$$

## В.4 Метод расчета критериев пожарной опасности для горючих пылей

В.4.1 В качестве расчетного варианта аварии для определения критериев пожарной опасности для горючих пылей следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в горении пылевоздушной смеси участвует наибольшее количество веществ или материалов, наиболее опасных в отношении последствий такого горения.

В.4.2 Количество поступивших веществ, которые могут образовывать горючие пылевоздушные смеси, определяют исходя из предпосылки о том, что в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в окружающее пространство находившейся в аппарате пыли.

В.4.3 Расчетная масса пыли, поступившей в окружающее пространство при расчетной аварии, определяется по формуле

$$M = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{вз} + M_{ав} \\ \rho_{см} V_{ав} / Z \end{array} \right., \quad (\text{В.17})$$

где  $M$  — расчетная масса поступившей в окружающее пространство горючей пыли, кг;

$M_{вз}$  — расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$M_{ав}$  — расчетная масса пыли, поступившей в результате аварийной ситуации, кг;

$\rho_{ст}$  — стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэровзвеси, кг · м<sup>-3</sup>;

$V_{ав}$  — расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации, м<sup>3</sup>.

В отсутствие возможности получения сведений для расчета  $V_{ав}$  допускается принимать

$$M = M_{вз} + M_{ав}. \quad (B.18)$$

В.4.4  $M_{вз}$  определяют по формуле

$$M_{вз} = K_2 K_{вз} M_n, \quad (B.19)$$

где  $K_2$  — доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

$K_{вз}$  — доля отложенной вблизи аппарата пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. В отсутствие экспериментальных данных о величине  $K_{вз}$  допускается принимать  $K_{вз} = 0,9$ ;

$M_n$  — масса отложившейся вблизи аппарата пыли к моменту аварии, кг.

В.4.5  $M_{ав}$  определяют по формуле

$$M_{ав} = (M_{ан} + q T) K_n, \quad (B.20)$$

где  $M_{ан}$  — масса горючей пыли, выбрасываемой в окружающее пространство при разгерметизации технологического аппарата, кг; при отсутствии ограничивающих выброс пыли инженерных устройств следует принимать, что в момент расчетной аварии происходит аварийный выброс в окружающее пространство всей находившейся в аппарате пыли;

$q$  — производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения, кг · с<sup>-1</sup>;

$T$  — расчетное время отключения, с, определяемое в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки. Следует принимать равным времени срабатывания системы автоматики, если вероятность ее отказа не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов (но не более 120 с); 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов; 300 с при ручном отключении;

$K_n$  — коэффициент пыления, представляющий собой отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата. В отсутствие экспериментальных данных о  $K_n$  допускается принимать: 0,5 — для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм; 1,0 — для пылей с дисперсностью менее 350 мкм.

В.4.6 Исходя из рассматриваемого сценария аварии определяют массу  $M$ , кг, горючей пыли, поступившей в результате аварии в окружающее пространство в соответствии с В.4.1–В.4.5.

В.4.7 Избыточное давление  $\Delta P$  для горючих пылей рассчитывают в следующей последовательности:

а) определяют приведенную массу горючей пыли  $m_{np}$ , кг, по формуле

$$m_{np} = M Z H_m / H_{m0}, \quad (\text{В.21})$$

где  $M$  — масса горючей пыли, поступившей в результате аварии в окружающее пространство, кг;

$Z$  — коэффициент участия пыли в горении, значение которого допускается принимать равным 0,1. В отдельных обоснованных случаях величина  $Z$  может быть снижена, но не менее чем до 0,02;

$H_m$  — теплота сгорания пыли, Дж · кг<sup>-1</sup>;

$H_{m0}$  — константа, принимаемая равной  $4,52 \cdot 10^6$  Дж · кг<sup>-1</sup>;

б) вычисляют расчетное избыточное давление  $\Delta P$ , кПа, по формуле

$$\Delta P = P_0 \left( \frac{0,8 m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 m_{np}}{r^3} \right), \quad (\text{В.22})$$

где  $P_0$  — атмосферное давление, кПа;

$r$  — расстояние от центра пылевоздушного облака, м. Допускается отсчитывать величину  $r$  от геометрического центра технологической установки.

В.4.8 Импульс волны давления  $i$ , Па · с, вычисляют по формуле

$$i = \frac{123 m_{np}^{0,66}}{r}. \quad (\text{В.23})$$

## В.5 Метод расчета интенсивности теплового излучения

В.5.1 Интенсивность теплового излучения рассчитывают для двух случаев пожара (или для того из них, который может быть реализован в данной технологической установке):

- пожар проливов ЛВЖ, ГЖ, СУГ, СПГ (сжиженный природный газ) или горение твердых горючих материалов (включая горение пыли);
- «огненный шар».

Если возможна реализация обоих случаев, то при оценке значений критерия пожарной опасности учитывается наибольшая из двух величин интенсивности теплового излучения.

В.5.2 Интенсивность теплового излучения  $q$ , кВт · м<sup>-2</sup>, для пожара пролива жидкости или при горении твердых материалов рассчитывают по формуле

$$q = E_f F_q \tau, \quad (\text{В.24})$$

где  $E_f$  — среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт·м<sup>-2</sup>;

$F_q$  — угловой коэффициент облученности;

$\tau$  — коэффициент пропускания атмосферы.

$E_f$  принимают на основе имеющихся экспериментальных данных. Для некоторых жидких углеводородных топлив указанные данные приведены в таблице В.1.

При отсутствии данных допускается принимать величину  $E_f$  равной 100 кВт·м<sup>-2</sup> для СУГ, 40 кВт·м<sup>-2</sup> — для нефтепродуктов, 40 кВт·м<sup>-2</sup> — для твердых материалов.

Таблица В.1 — Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени в зависимости от диаметра очага и удельная массовая скорость выгорания для некоторых жидких углеводородов

Углеводороды	$E_f$ , кВт·м <sup>-2</sup>					$M_f$ , кг·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>
	$d = 10$ м	$d = 20$ м	$d = 30$ м	$d = 40$ м	$d = 50$ м	
СПГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04
Нефть	25	19	15	12	10	0,04

Примечание — Для диаметров очагов менее 10 м или более 50 м следует принимать  $E_f$  такой же, как и для очагов диаметром 10 м и 50 м соответственно

В.5.3 Рассчитывают эффективный диаметр пролива  $d$ , м, по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (\text{В.25})$$

где  $F$  — площадь пролива, м<sup>2</sup>.

В.5.4 Вычисляют высоту пламени  $H$ , м, по формуле

$$H = 42d \left( \frac{M}{\rho_e \sqrt{g d}} \right)^{0,61}, \quad (\text{В.26})$$

где  $M$  — удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$\rho_e$  — плотность окружающего воздуха, кг·м<sup>-3</sup>;

$g$  — ускорение свободного падения;  $g = 9,81$  м·с<sup>-2</sup>.

В.5.5 Определяют угловой коэффициент облученности  $F_q$  по формулам:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (\text{B.27})$$

где  $F_V, F_H$  — факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые определяют с помощью выражений:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{S} \arctg \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \left\{ \arctg \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right] \quad (\text{B.28})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \arctg \left( \sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right]; \quad (\text{B.29})$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}; \quad (\text{B.30})$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2S}; \quad (\text{B.31})$$

$$S = \frac{2r}{d}; \quad (\text{B.32})$$

$$h = \frac{2H}{d}, \quad (\text{B.33})$$

где  $r$  — расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Определяют коэффициент пропускания атмосферы по формуле

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4}(r - 0,5d)]. \quad (\text{B.34})$$

В.5.6 Интенсивность теплового излучения  $q$ , кВт·м<sup>-2</sup>, для «огненного шара» рассчитывают по формуле (B.24).

$E_f$  определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать  $E_f$  равным 450 кВт·м<sup>-2</sup>.

В.5.7  $F_q$  вычисляют по формуле

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \left[ (H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2 \right]^{1,5}}, \quad (\text{B.35})$$

где  $H$  — высота центра «огненного шара», м;

$D_s$  — эффективный диаметр «огненного шара», м;

$r$  — расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

В.5.8 Эффективный диаметр «огненного шара»  $D_s$  рассчитывают по формуле

$$D_s = 5,33 m^{0,327}, \quad (B.36)$$

где  $m$  — масса горючего вещества, кг.

В.5.9  $H$  определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать  $H$  равной  $D_s/2$ .

В.5.10 Время существования «огненного шара»  $t_s$ , с, рассчитывают по формуле

$$t_s = 0,92 m^{0,303}. \quad (B.37)$$

В.5.11 Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  рассчитывают по формуле

$$\tau = \exp \left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \left( \sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right]. \quad (B.38)$$

## В.6 Метод расчета радиуса воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газо- или паровоздушной смеси в открытом пространстве

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газо- или паровоздушной смеси в открытом пространстве  $R_F$ , м, рассчитывают по формуле

$$R_F = 1,2 R_{НКПР}, \quad (B.39)$$

где  $R_{НКПР}$  — горизонтальный размер зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих  $C_{НКПР}$ , определяемый по формуле (B.12).

## В.7 Метод расчета длины факела при струйном горении горючих газов

Длину факела  $L_\phi$ , м, при струйном горении горючих газов рассчитывают по формуле

$$L_\phi = K G^{0,4}, \quad (B.40)$$

где  $K$  — коэффициент, который при истечении сжатых газов принимается равным 12,5; при истечении паровой фазы СУГ или СПГ — 13,5; при истечении жидкой фазы СУГ или СПГ — 15;

$G$  — расход горючего газа, кг·с<sup>-1</sup>.

Приложение Г  
(обязательное)

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ УСЛОВНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ  
ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Г.1 При оценке пожарного риска для наружной установки следует рассматривать следующие опасные факторы:

- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей на открытом пространстве;
- тепловое излучение при пожарах проливов горючих жидкостей и пожарах твердых материалов, реализации «огненного шара», струйном горении;
- воздействие высокотемпературных продуктов сгорания газо- или паровоздушной смеси в открытом пространстве.

Если для рассматриваемой наружной установки невозможна реализация какого-либо из указанных выше опасных факторов, то этот фактор при оценке пожарного риска не учитывается.

Условная вероятность  $Q_{dj}(a)$  поражения человека при реализации  $j$ -го сценария развития аварии, как правило, вычисляют по значениям пробит-функции  $Pg$ . Взаимосвязь величины  $Pg$  и условной вероятности поражения устанавливается таблицей Г.1, между реперными точками которой возможна линейная интерполяция.

Г.2 Условную вероятность поражения человека избыточным давлением при сгорании газо-, паро-, пылевоздушных смесей на расстоянии  $r$  от эпицентра определяют в следующей последовательности:

- вычисляют избыточное давление  $\Delta P$  и импульс  $i$  по методам, приведенным в приложении В;
- исходя из значений  $\Delta P$  и  $i$ , вычисляют величину пробит-функции  $Pg$  по формулам:

$$Pg = 5 - 0,26 \ln(V); \quad (\text{Г.1})$$

$$V = \left( \frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{i} \right)^{9,3}, \quad (\text{Г.2})$$

где  $\Delta P$  — избыточное давление, Па;

$i$  — импульс волны давления, Па·с.

С помощью таблицы Г.1 определяют условную вероятность поражения человека. Например, при значении  $Pg = 2,95$  значение  $Q_{dj}(a) = 2 \% = 0,02$ , а при  $Pg = 8,09$  значение  $Q_{dj}(a) = 99,9 \% = 0,999$ .

Таблица Г.1 — Значения условной вероятности поражения человека в зависимости от величины пробит-функции Pr

Условная вероятность поражения, %	Величина пробит-функции Pr									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
—	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Г.3 Условную вероятность поражения человека тепловым излучением при пожаре пролива горючей жидкости, пожаре твердого материала или «огненном шаре» определяют в следующей последовательности:

а) рассчитывают величину Pr по формуле

$$Pr = -12,8 + 2,56 \ln(t q^{1,33}), \quad (\text{Г.3})$$

где  $t$  — эффективное время экспозиции, с;

$q$  — интенсивность теплового излучения, кВт · м<sup>-2</sup>, определяемая в соответствии с приложением В.

Величину  $t$  находят:

1) для пожаров проливов горючих жидкостей и пожаров твердых материалов

$$t = t_0 + \frac{x}{u}, \quad (\text{Г.4})$$

где  $t_0$  — характерное время обнаружения пожара, с (допускается принимать  $t = 5$  с);

$x$  — расстояние от места расположения человека до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт · м<sup>-2</sup>, м;

$u$  — скорость движения человека, м · с<sup>-1</sup> (допускается принимать  $u = 5$  м · с<sup>-1</sup>);



2) для воздействия «огненного шара» величина  $t$  принимается в соответствии с приложением В;

б) с помощью таблицы Г.1 определяют условную вероятность поражения человека тепловым излучением.

В случае, если радиус очага пожара при пожаре проливе, пожаре твердых материалов или реализации «огненного шара» больше или равен 30 м, условная вероятность поражения человека принимается равной 100 %.

Г.4. Условную вероятность поражения человека при струйном горении вычисляют следующим образом:

- определяют длину факела по методу в соответствии с приложением В;
- в случае, если  $L_{\phi} \geq 30$  м, условная вероятность поражения принимается равной 6 %;
- в случае, если  $L_{\phi} < 30$  м, условная вероятность поражения принимается равной 0.

Г.5. Условную вероятность поражения человека в результате воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газо- или паровоздушной смеси при реализации пожара-вспышки вычисляют следующим образом:

- определяют радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газо- или паровоздушной смеси в открытом пространстве по методу в соответствии с приложением В;
- в случае, если  $R_F \geq 30$  м, условная вероятность поражения принимается равной 100 %;
- в случае, если  $R_F < 30$  м, условная вероятность поражения принимается равной 0.

**РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА Z  
УЧАСТИЯ В ГОРЕНИИ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ И ПАРОВ  
НЕНАГРЕТЫХ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ**

Д.1 Приведенные в приложении Д расчетные формулы применяются для случая  $100 m / (\rho_{z,n} V_{св}) < 0,5 C_{НКПР}$  [СНКПР — нижний концентрационный предел распространения пламени газа или пара, % (объемных)] и помещений в форме прямоугольного параллелепипеда с отношением длины к ширине не более пяти.

Д.2 Коэффициент Z участия горючих газов и паров ненагретых выше температуры окружающей среды легко воспламеняющихся жидкостей при заданном уровне значимости Q ( $C > \bar{C}$ ) рассчитывают по формулам:

$$- \text{при } X_{НКПР} \leq \frac{1}{2} L \text{ и } Y_{НКПР} \leq \frac{1}{2} S$$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \pi}{m} \rho_{z,n} \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) X_{НКПР} Y_{НКПР} Z_{НКПР}; \quad (Д.1)$$

$$- \text{при } X_{НКПР} > \frac{1}{2} L \text{ и } Y_{НКПР} > \frac{1}{2} S$$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{m} \rho_{z,n} \left( C_0 + \frac{C_{НКПР}}{\delta} \right) F Z_{НКПР}, \quad (Д.2)$$

где  $C_0$  — предэкспоненциальный множитель, % (объемных), равный:

— при отсутствии подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{m}{\rho_z V_{св}}; \quad (Д.3)$$

— при подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \frac{m}{\rho_z V_{св} U}; \quad (Д.4)$$

— при отсутствии подвижности воздушной среды для паров легко воспламеняющихся жидкостей

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \rho_n V_{св}} \right)^{0,41}; \quad (Д.5)$$

— при подвижности воздушной среды для паров легковоспламеняющихся жидкостей

$$C_0 = C_n \left( \frac{m \cdot 100}{C_n \rho_n V_{св}} \right)^{0,46}, \quad (\text{Д.6})$$

где  $m$  — масса газа или паров ЛВЖ, поступающих в объем помещения, кг;  
 $\delta$  — допустимые отклонения концентрации при задаваемом уровне значимости  $Q (C > \bar{C})$ , приведенные в таблице Д.1;  
 $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$ ,  $Z_{НКПР}$  — расстояния по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  от источника поступления газа или пара, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения пламени соответственно, м; рассчитываются по формулам (Д.10)–(Д.12);  
 $L$ ,  $S$  — длина и ширина помещения соответственно, м;  
 $F$  — площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;  
 $U$  — подвижность воздушной среды, м · с<sup>-1</sup>;  
 $C_n$  — концентрация насыщенных паров при расчетной температуре  $t_p$ , °С, воздуха в помещении, % (объемных).

Д.3 Концентрация  $C_n$  может быть найдена по формуле

$$C_n = 100 \frac{P_n}{P_0}, \quad (\text{Д.7})$$

где  $P_n$  — давление насыщенных паров при расчетной температуре (находят из справочной литературы), кПа;  
 $P_0$  — атмосферное давление, равное 101 кПа.

Таблица Д.1 — Допустимые отклонения концентрации  $\delta$  при заданном уровне значимости  $Q(C > \bar{C})$

Характер распределения концентраций	$Q(C > \bar{C})$	$\delta$
Для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды	0,1	1,29
	0,05	1,38
	0,01	1,53
	0,003	1,63
	0,001	1,70
	0,000001	2,04
Для горючих газов при подвижности воздушной среды	0,1	1,29
	0,05	1,37
	0,01	1,52
	0,003	1,62

Характер распределения концентраций	$Q(C > \bar{C})$	$\delta$
Для горючих газов при подвижности воздушной среды	0,001	1,70
	0,000001	2,03
Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды	0,1	1,19
	0,05	1,25
	0,01	1,35
	0,003	1,41
	0,001	1,46
	0,000001	1,68
Для паров легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды	0,1	1,21
	0,05	1,27
	0,01	1,38
	0,003	1,45
	0,001	1,51
	0,000001	1,75

Уровень значимости  $Q(C > \bar{C})$  выбирают исходя из особенностей технологического процесса. Допускается принимать  $Q(C > \bar{C})$  равным 0,05.

Д.4 Коэффициент  $Z$  участия паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей при сгорании паровоздушной смеси может быть определен по графику, приведенному на рисунке Д.1.

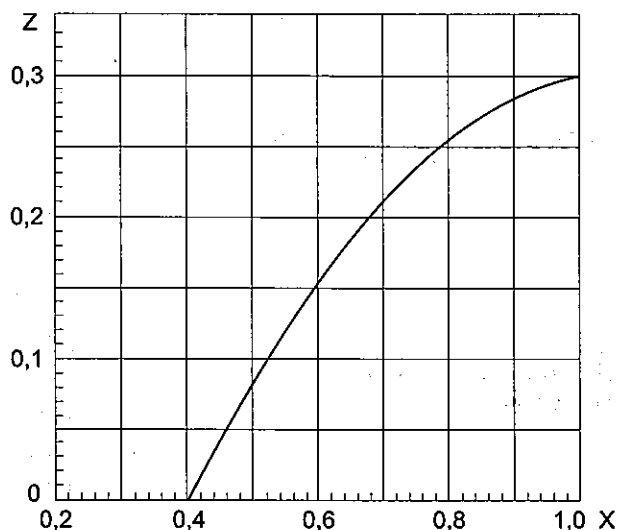


Рисунок Д.1 — Зависимость  $Z$  от  $X$

Значения  $X$  рассчитывают по формуле

$$X = \begin{cases} C_n/C^*, & \text{если } C_n \leq C^*; \\ 1, & \text{если } C_n > C^*, \end{cases} \quad (\text{Д.8})$$

где  $C^*$  — величина, задаваемая соотношением

$$C^* = \varphi C_{ст}, \quad (\text{Д.9})$$

где  $\varphi$  — эффективный коэффициент избытка горючего, принимаемый равным 1,9.

Расстояния  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  рассчитывают по формулам:

$$X_{НКПР} = K_1 L \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}; \quad (\text{Д.10})$$

$$Y_{НКПР} = K_1 S \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}; \quad (\text{Д.11})$$

$$Z_{НКПР} = K_3 H \left( K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}, \quad (\text{Д.12})$$

где  $K_1$  — коэффициент, принимаемый равным 1,1314 для горючих газов и 1,1958 — для легковоспламеняющихся жидкостей;

$K_2$  — коэффициент, принимаемый равным 1 для горючих газов и  $K_2 = T/3600$  — для легковоспламеняющихся жидкостей;

$K_3$  — коэффициент, принимаемый равным 0,0253 для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды; 0,02828 — для горючих газов при подвижности воздушной среды; 0,04714 — для легковоспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды и 0,3536 — для легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды;

$H$  — высота помещения, м.

При отрицательных значениях логарифмов расстояния  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$  и  $Z_{НКПР}$  принимаются равными 0.

**Ключевые слова:** категории, помещения, здания, наружные установки, взрывопожарная опасность, пожарная опасность, пожарный риск

**А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский**  
**КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ**  
**ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ**

*Подготовка оригинал-макета*  
*Н.Н. Соколова*

---

Подписано в печать 11.01.2010.  
9,6 усл. печ. л.

Формат 70×100/16.  
Тираж 5000 экз.

Печать офсетная.  
Заказ №

---

ООО «Издательство «Пожнаука»  
121352, г. Москва, ул. Давыдковская, д. 12, стр. 7  
Тел./факс: (495) 228-09-03  
E-mail: mail@firepress.ru

Отпечатано в типографии полного цикла «ExcellPrint»,  
129377, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 13  
Тел. (495) 979-68-01  
E-mail: excellprint@mail.ru