

**Тема № 2.3: Категорирование  
помещений, зданий и наружных  
установок по взрывопожарной  
и пожарной опасности**

## **ЦЕЛИ ЗАНЯТИЯ:**

- **Изучить основные принципы категорирования помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности**

# ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
2. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. СТБ 11.05.03-2010. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной безопасности. Общие требования.
4. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.
5. ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования.
6. ТКП 45-2.02-142-2011. Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации.
6. ТКП 474-2013. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
7. Абдрафиков Ф.Н. Безопасность технологических процессов. Курс лекций – Светлая Роща, 2011.

# Вопросы:

- 1. Понятие категории по взрывопожарной и пожарной опасности.  
Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности**

**Категория взрывопожарной (пожарной опасности)  
– показатель взрывопожарной и пожарной  
опасности помещения, здания, сооружения,  
пожарного отсека.**

Показатель взрывопожарной и пожарной опасности определяется свойствами, количеством и условиями применения веществ и материалов в помещениях, зданиях, сооружениях, пожарных отсеках и показывает возможность возникновения в них пожара, взрыва с последующим горением.

В зависимости от категории производства устанавливаются нормативные требования по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности помещений и зданий производства в отношении планировки и застройки, этажности, площадей, размещения помещений, конструктивных решений, инженерного оборудования, электрооборудования и т.п.

**Категории помещений, зданий производственного назначения и складов, а также наружных установок определяются на стадии их проектирования и при изменении функционального назначения зданий и сооружений или отдельных помещений (отсеков) в процессе их эксплуатации.**

## **Категории взрывопожароопасности определяют для:**

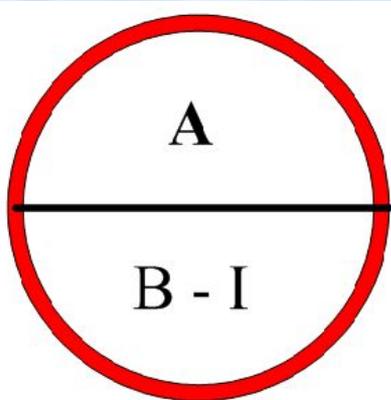
- зданий производственного назначения;**
- зданий складского назначения;  
(здания классов функциональной пожарной опасности Ф5.1, Ф5.2, Ф5.3)**
- помещений в зданиях производственного и складского назначения;**
- наружных установок.**

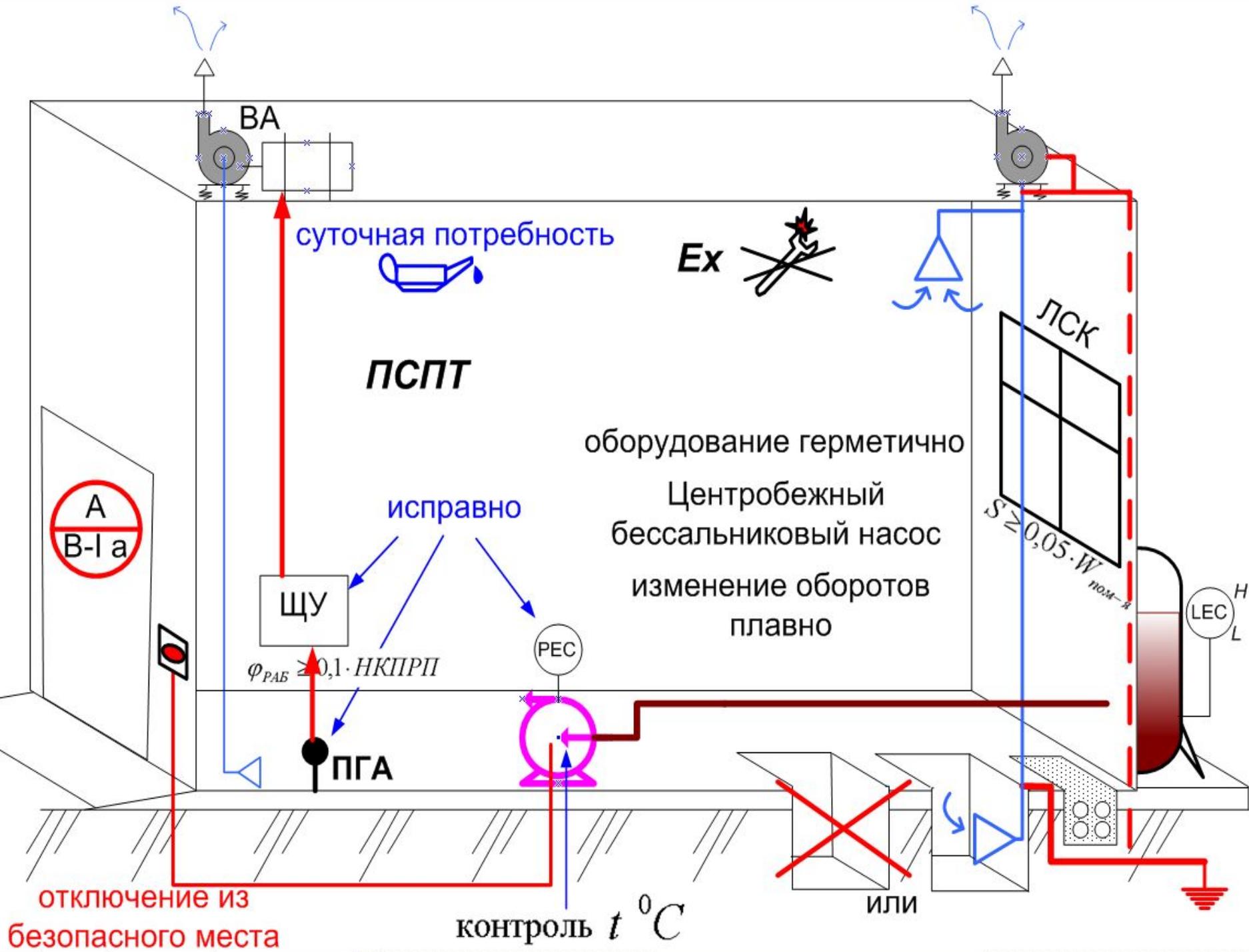
**Категории взрывопожароопасности помещений, зданий и наружных установок используют при определении:**

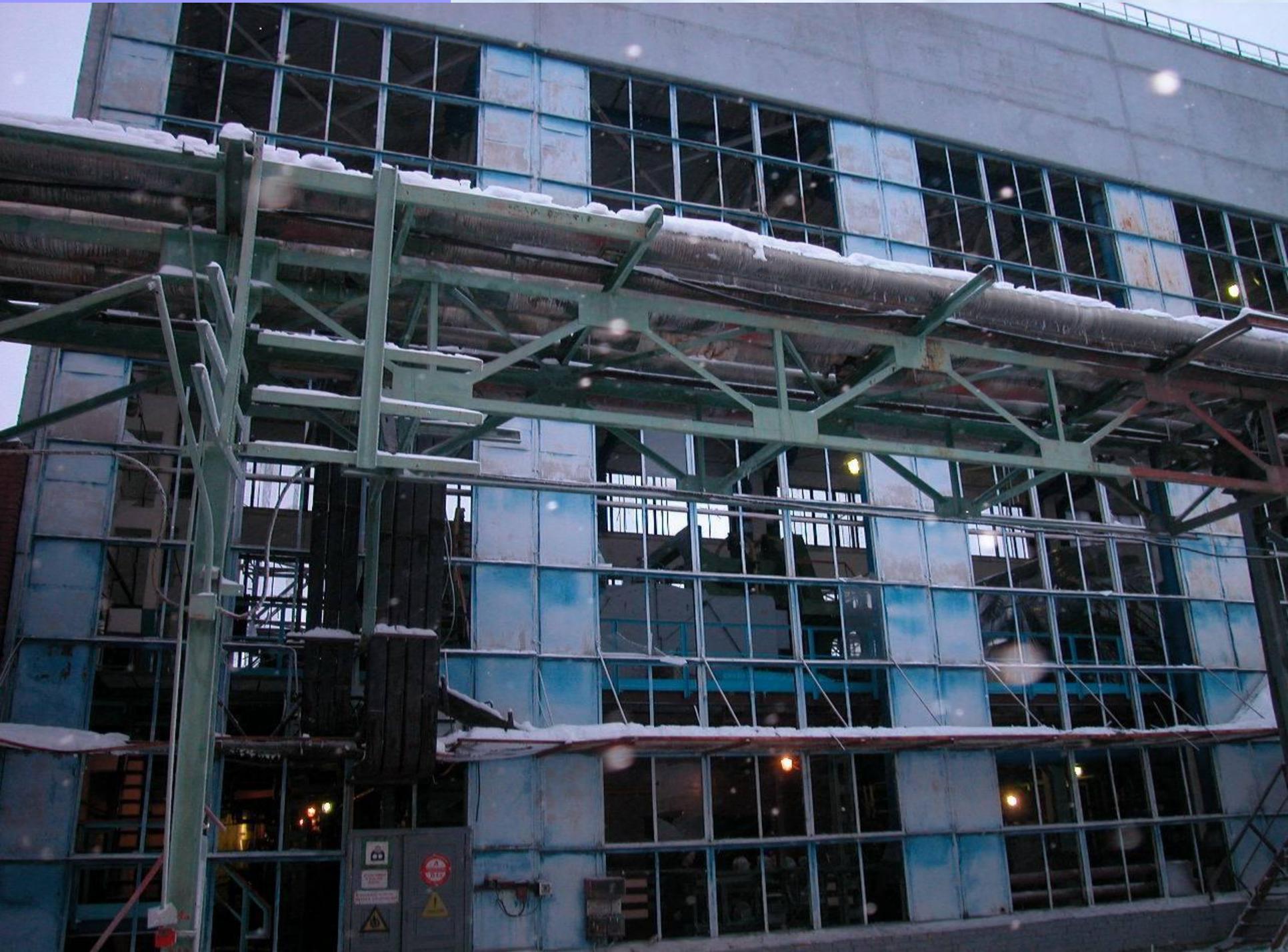
- планировки застройки;**
- этажности;**
- площадей пожарных отсеков;**
- размещения помещений;**
- обеспечении эвакуации людей при пожаре;**
- конструктивных решений;**
- инженерного оборудования.**

# Категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

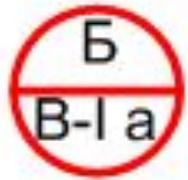
Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от высшей (А) к низшей (Д).

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
<p data-bbox="195 758 546 901">А (взрывопожаро-опасная)</p> 	<p data-bbox="672 758 1835 1353">Горючие газы (далее – ГГ), легковоспламеняющиеся жидкости (далее – ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. 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.</p>









**Б**  
(взрывопожаро-  
опасная)

Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (далее – ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

**В1-В4**  
(пожароопасные)

ГГ, ЛВЖ, ГЖ 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 взрываться и гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.



Категория	Удельная пожарная нагрузка на участке, МДж · м <sup>-2</sup>	Способ размещения
B1	более 2200	Не нормируется
B2	1400 - 2200	п. 5.3.2
B3	200 -1400	п. 5.3.2
B4	100 - 200	На любом участке пола помещения площадью не более 10 м <sup>2</sup> . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно пункту 5.3.4.

<b>Г1</b>	<b>ГГ, ЛВЖ, ГЖ, твердые горючие вещества и материалы, которые сжигаются или утилизируются в процессе контролируемого горения в качестве топлива</b>
<b>Г2</b>	<b>Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени.</b>
<b>Д</b>	<b>Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, горючие и трудногорючие вещества и материалы в таком количестве, что удельная пожарная нагрузка на участке их размещения в помещении не превышает 100 МДж/м<sup>2</sup>, а пожарная нагрузка в пределах помещения – 1000 МДж.</b>



## КАТЕГОРИИ ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Здание относится к категории А, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены два условия:  
здание не относится к категории А;  
суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % суммарной площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории В , если одновременно выполнены два условия:

- здание не относится к категориям А или Б;
- суммарная площадь помещений категорий А, Б и В превышает 5 % (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б и В в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

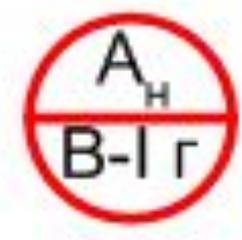
Здание относится к категории Г , если одновременно выполнены два условия:

- здание не относится к категориям А, Б или В;
- суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г превышает 5% суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>).

Здание относится к категории Д, если оно не относится к категориям А, Б, В или Г.

# КАТЕГОРИИ НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории по пожарной опасности
	<p>Установка относится к категории А<sub>н</sub>, 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 горизонтальный размер зоны, ограничивающей газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего, выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), превышает 30 м и/или расчетное избыточное давление при сгорании газопаровоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.</p> <p>Допускается не относить установку к категории А<sub>н</sub> при условии, что величина индивидуального риска при возможном сгорании указанных веществ с образованием волн давления не превышает 10<sup>-6</sup> в год на расстоянии 30 м от наружной установки.</p>

**Б<sub>н</sub>**

Установка относится к категории Б<sub>н</sub>, 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 горизонтальный размер зоны, ограничивающей паровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), превышает 30 м и/или расчетное избыточное давление при сгорании паро- или пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.

**В<sub>н</sub>**

Установка относится к категории В<sub>н</sub>, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы, легковоспламеняющиеся, 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; не реализуются критерии, позволяющие отнести установку к категориям А<sub>н</sub> или Б<sub>н</sub>, и интенсивность теплового излучения от очага пожара указанных веществ и/или материалов на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 4 кВт·м<sup>-2</sup>.

**Г<sub>н</sub>**

Установка относится к категории Г<sub>н</sub>, 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

**Д<sub>н</sub>**

Установка относится к категории Д<sub>н</sub>, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и/или материалы в холодном состоянии и по перечисленным выше критериям она не относится к категориям А<sub>н</sub>, Б<sub>н</sub>, В<sub>н</sub>, Г<sub>н</sub>





## МЕТОДЫ РАСЧЕТА КРИТЕРИЕВ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ

При расчете значений критериев взрывопожарной опасности в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором во взрыве участвует наибольшее количество веществ или материалов, наиболее опасных в отношении последствий взрыва.

В случае если использование расчетных методов не представляется возможным, допускается определение значений критериев взрывопожарной опасности на основании результатов соответствующих научно-исследовательских работ, согласованных и утвержденных в установленном порядке.

**Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать взрывоопасные газоздушные или паровоздушные смеси определяется из предпосылок, что:**

1. Происходит расчетная авария одного из аппаратов согласно выше сказанного.
2. Все содержимое аппарата поступает в помещение.
3. 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:

- а) времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает  $0,000001$  в год и не обеспечено резервирование ее элементов;
- б) 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает  $0,000001$  в год и не обеспечено резервирование ее элементов;
- в) 300 с - при ручном отключении.

Не допускается использование технических средств для отключения трубопроводов, для которых время отключения превышает приведенные выше значения.

## **Определение площади испарения жидкости, при разливе ее на пол.**

**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.**

## **Количество пыли, которое может образовать взрывоопасную смесь, определяется из следующих предпосылок**

- **Расчетной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыделения из негерметичного производственного оборудования) между плановыми уборками пыли, определяемое экспериментально технологами. При отсутствии экспериментальных данных технологов допускается принимать пыленакопление равное 5% от расчетного количества пыли, выделившейся из технологического оборудования при аварии.**
- **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.**

## **Свободный объем помещения**

**Определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием с погрешностью не более 7 %.**

**Допускается принимать равным 80% геометрического объема помещения.**

## РАСЧЕТ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА ДЛЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ, ПАРОВ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{СВ}} \cdot \rho_{\text{г.п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{СТ}}} \cdot \frac{1}{k_{\text{Н}}},$$

**РАСЧЕТ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА** для индивидуальных веществ, кроме упомянутых выше, а также для смесей может быть выполнен по формуле

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_B \cdot C_P \cdot T_0} \cdot \frac{1}{k_H}$$

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

$\rho_B$  - плотность воздуха до взрыва 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 · 10<sup>3</sup> Дж · кг<sup>-1</sup> · К<sup>-1</sup>);

$T_0$  - начальная температура воздуха, К.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ В1-В4 ПОМЕЩЕНИЙ

Определение пожароопасной категории помещения осуществляется путем сравнения максимального значения пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в таблице .

Категория	Удельная пожарная нагрузка на участке, МДж · м <sup>-2</sup>	Способ размещения
B1	более 2200	Не нормируется
B2	1400-2200	По примечанию 2
B3	200-1400	По примечанию 2
B4	До 200	Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно примечанию 1

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

Для материалов пожарной нагрузки с неизвестными значениями  $q_{кр}$  значения предельных расстояний принимаются  $l \geq 12$  м.

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

$$l_{пр} \geq 15 \text{ м при } H \geq 11,$$
$$l_{пр} \geq 26 - H \text{ при } H < 11$$

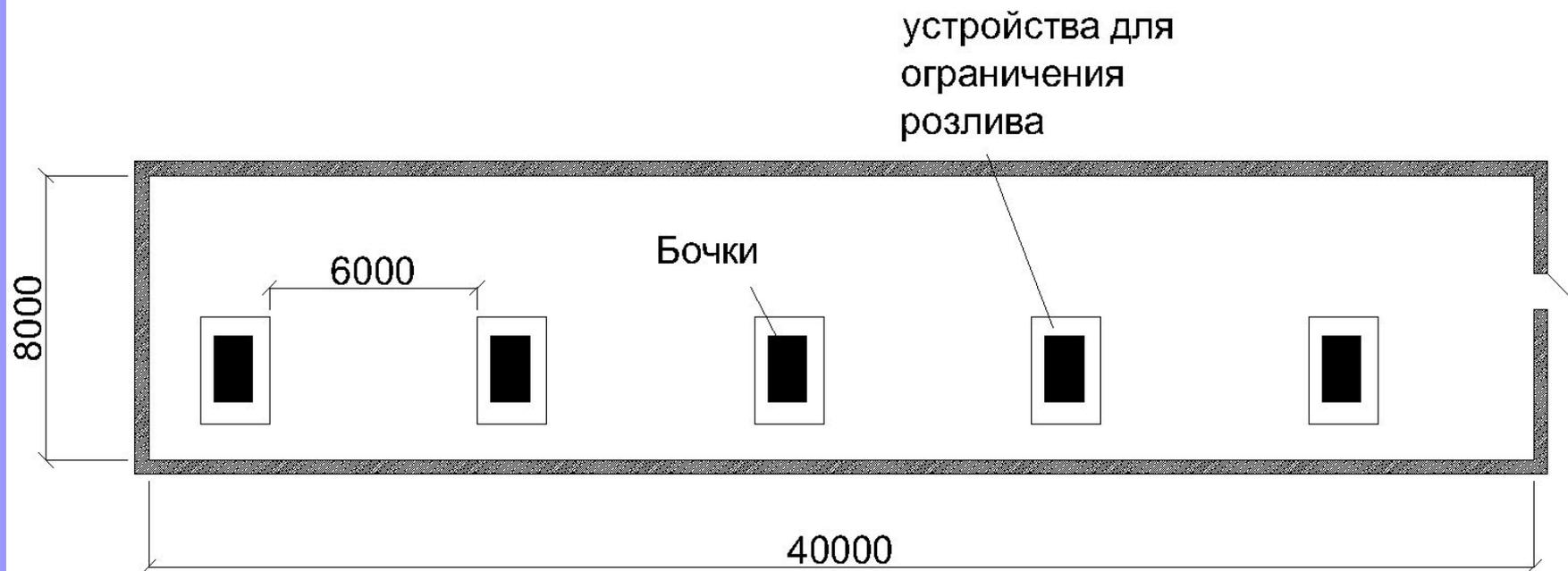
2. Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки  $Q$ , определенное по пункту 7.2, превышает или равно  $Q \geq 0,64g H_2$ , то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно.

3. Помещения площадью менее  $10 \text{ м}^2$  независимо от обращающихся в них пожароопасных веществ и материалов следует относить к категории В4

# Пример расчета

- 1. Исходные данные
- Складское помещение. В помещении находятся горючие вещества (белила цинковые МА-15Н (ГОСТ 10503-71) температура вспышки  $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ )(далее – белила), которые хранятся в металлических бочках. Количество бочек 5. Количество белила в каждой бочке составляет 30 кг, иная пожарная нагрузка отсутствует. Низшая теплота сгорания для Белил составляет  $44,87\text{ МДж}\cdot\text{кг}^{-1}$ .
- При определении избыточного давления взрыва  $\Delta P$  в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одной бочки с Белилами и поступление их в объем помещения. За расчетную температуру принимается максимальная абсолютная температура воздуха в данном районе (Борисов)  $t_p = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 2. Обоснование расчетного варианта наиболее неблагоприятного в отношении взрыва периода.
- Согласно таблице Б.2 ТКП 474 коэффициент участия горючего во взрыве равен  $Z$  составляет 0, так как белила нагреты до температуры окружающей среды ( $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что ниже температуры вспышки ( $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и отсутствует возможность образования аэрозоля. Из этого следует, что избыточное давление взрыва  $\Delta P$  равно 0.

## Схема размещения пожарной нагрузки в помещении



- **4. Расчет пожарной нагрузки и удельной пожарной нагрузки на участках.**

- В помещении располагается 5 участков с одинаковой пожарной нагрузкой. В соответствии с п. 5.3.3 ТКП 474 определим пожарную нагрузку  $Q$  и удельную пожарную нагрузку  $g$  на одном участке.

- Пожарная нагрузка на одном из участков составит:

- $Q = 30 \cdot 44,87 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} = 1346,1$

- Согласно технологическим условиям площадь размещения пожарной нагрузки составляет до 8 м<sup>2</sup>. В соответствии с п. 5.3.1 технического кодекса принимаем площадь размещения пожарной нагрузки  $S$  равной 10 м<sup>2</sup>. Удельная пожарная нагрузка на участке составит:

- $g = \frac{Q}{S} = \frac{1346,1 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^2}{10} = 134,61$

- Определяем пожарную нагрузку в помещении:

- $Q = 5 \cdot 30 \cdot 44,87 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} = 6730,5$

- 5. Проверка условий размещения пожарной нагрузки в помещении

- Так как пожарная нагрузка в помещении составляет 6730,5 МДж, что более 2000 МДж, в соответствии с таблицей 2 ТКП 474 помещения с данной удельной пожарной нагрузкой могут быть отнесены к категории В4 ( $q < 200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ) при условии, что способ ее размещения удовлетворяет необходимым п. 5.3.4.
- Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ и ГЖ, расстояния между участками разлива пожарной нагрузки должны быть больше предельных.
- В помещении минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм  $H$  составляет около 9 м. При этих условиях ( $H$  меньше 11 м) предельное расстояние  $l_{пр}$  должно удовлетворять неравенству:
  - $l_{пр} \geq 26 - H$ .
  - При  $H = 9$  м предельное расстояние должно быть  $l_{пр} \geq 17$  м.
- 6. Вывод о категории помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно ТКП 474..
- Поскольку данное условие не выполняется (расстояния между агрегатами не более 6 м), согласно техническому кодексу рассматриваемое помещение следует отнести к категории В3.

**Пример расчета массы ЛВЖ,  
вышедшей в результате  
аварии в помещении и  
участвующей в образовании  
взрывоопасной смеси**

## Исходные данные:

Помещение складирования ацетона. В помещении хранится десять бочек с ацетоном, каждая объемом по  $V_a = 80 \text{ л} = 0,08 \text{ м}^3$ . Размеры помещения  $L \times S \times H = 12 \times 6 \times 6 \text{ м}$ . Объем помещения  $V_{\text{п}} = 432 \text{ м}^3$ . Площадь помещения  $F = 72 \text{ м}^2$ .

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)  $\rho = 790,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .  
Температура вспышки ацетона  $t_{\text{всп}} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении массы горючего вещества, поступающего в помещение, 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 м<sup>2</sup> пола помещения. За расчетную принимаем стандартную температуру, равную  $t_p = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## Определение массы горючего вещества.

С помощью значений констант Антуана А, В и С<sub>А</sub> рассчитывается давление насыщенных паров ацетона при расчетной температуре:

$$P_H = 10^{A - \frac{B}{C_A + t_{ж}}} = 10^{6,37551 - \frac{1281,721}{237,088 + 25}} = 30,55 \text{ кПа}$$

Для значений молярной массы ацетона  $M = 58$  ( 58,08 ) определяем значение интенсивности испарения:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58,08} \cdot 30,55 = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$$

Расчетная площадь разлива содержимого одной бочки ацетона составляет:

$$F_N = 1,0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2$$

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

Масса паров ( $m$ ), поступивших в помещение, рассчитывается по формуле

$$m = 2,33 \cdot 10^{-4} \cdot 72 \cdot 3600 = 60,4 \text{ кг}$$

Общая масса разлившегося ацетона  $m_{\Pi}$  составляет:

$$m_{\Pi} = V_a \cdot \rho_{\text{ж}} = 0,08 \cdot 790,8 = 63,264 \text{ кг}$$

Как видно, при расчетной аварийной ситуации испаряется не вся масса разлившегося из бочки ацетона, и в процессе образования взрывоопасной паровоздушной среды принимает участие только ее часть  $m = 60,4$  кг.

Далее рассмотрим порядок определения массы горючих газов, поступающих при аварии в помещение.

Масса  $m$ , кг, поступившего в помещении при расчетной аварии газа определяется исходя из объема  $V$  и давления в аппарате  $P_1$ , плотности газа при расчетной температуре и объема газа, вышедшего из трубопроводов  $V_T$ :

$$m = (V_a + V_T) \rho_{\Gamma}$$

$$V_a = 0,01 P_1 V$$

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}$$

При этом объем  $V$  складывается из двух составляющих: объема газа, вышедшего из трубопровода до его отключения  $V_{1T}$ , и газа, вышедшего после отключения трубопроводов  $V_{2T}$ :

$$V_{1T} = qT,$$

где:  $q$  – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и других параметров,  $\text{м}^3\text{с}^{-1}$ ;

$$V_{2T} = 0,01\pi P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n)$$

$T$  – время отключения трубопровода, с, определяемое по пункту А 1.2 ТКП 474-2013;

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.

**Пример расчета массы  
горючих газов, вышедших в  
результате аварии в  
помещение и участвующих в  
образовании взрывоопасной  
смеси.**

# 1. Исходные данные.

Помещение участка наращивания кремния. Наращивание поликристалла кремния осуществляется 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 участка, 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. Расход газа в трубопроводе  $q = 0,06$  м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>. Молярная масса водорода  $M = 2,016$  кг · кмоль<sup>-1</sup>.

## 2. Обоснование расчетного варианта аварии.

При определении массы водорода, вышедшего в помещение, в качестве расчетного варианта аварии принимается разгерметизация одного реактора и выход водорода из него и подводящего трубопровода. За расчетную температуру принимается максимальная температура воздуха в помещении  $t_p = 35 \text{ }^\circ \text{C}$ . Плотность водорода при этой температуре будет равна:

$$\rho_{\text{г.п.}} = \frac{2,016}{25,29} = 0,0797 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$

Расчетное время отключения трубопровода по п. А1.2 в ТКП 474-2013 Принимаем равным  $T_a = 120 \text{ с}$ .

**3. Масса поступившего в помещение при расчетной аварии водорода (т) определяется по формулам (А1) - (А5) ТКП 474-2013 на основании исходных данных:**

- объема газа, вышедшего из аппарата:

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

- объема газа, вышедшего из трубопровода до отключения:

$$V_{1T} = 0,06 \cdot 120 = 7,2 \text{ м}^3;$$

- объема газа, вышедшего из трубопровода после его отключения:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 0,012 \cdot 15 = 0,014 \text{ м}^3;$$

- общего объема газа, вышедшего из трубопровода

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

Масса газа будет равна:

$$m = (0,18 + 7,214) \cdot 0,0797 = 0,589 \text{ кг}$$

При наличии в помещении аварийной вентиляции концентрация газообразных примесей будет несколько ниже, чем рассчитанная в соответствии с приведенными соотношениями. Часть примесей будет уноситься с выходящим из помещения воздухом. Для учета этого эффекта при расчете количества горючего вещества в помещении следует массу горючих газов или паров ЛВЖ, или ГЖ, нагретых до температуры вспышки и выше, поступивших в объем помещения, разделить на коэффициент  $K$ , определяемый по формуле:

$$K = AT + 1,$$

где  $A$  - кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией,  $s^{-1}$ ;

$T$  - продолжительность поступления ГГ и паров ЛВЖ, и ГЖ в объем помещения, с.

**Данный коэффициент допускается учитывать при обеспечении аварийной вентиляции резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электроснабжением по первой категории надежности (согласно ПУЭ).**

**С помощью вышеизложенных уравнений рассчитывается количество горючих веществ, поступивших в объем помещения, оценивается возможность достижения взрывоопасной концентрации, необходимое для этого время (или количество испаряющейся жидкости) определения избыточного давления взрыва и решения других частных задач.**

Представленные схемы расчета определяют общие основы решения поставленной задачи и не могут в полной мере охватить все нюансы, возникающие в том или ином случае, с которыми приходится сталкиваться на практике. Каждому расчету должно предшествовать тщательное изучение возможных вариантов аварий и вследствие этого места поступления горючего вещества в помещение, его вида, агрегатного состояния, возможные пути его распространения в объеме (для газа) или по плоскости пола (для жидкостей) и т.д.

Можно сказать, что каждый случай является по-своему уникальным, и вследствие этого НПБ 5-2000 определяет категории именно помещений (зданий), а не производства в целом.

# Пример расчета категории.

- Физико-химические и пожароопасные свойства этанола определяются по справочной литературе. Этанол -  $C_2H_5OH$ , легковоспламеняющаяся жидкость с молекулярной массой 46.07 г/моль;  $\lg P = 7,81158 - 1918,508 / (252,125 + tP)$ ; нижний концентрационные пределы распространения пламени – 3,6 (об.); максимальное давление взрыва - 682 кПа, нормальная скорость выгорания - 0,556 м/с.
- В качестве аварийной ситуации выбирается наихудший вариант, при котором происходит полное разрушение аппарата с этанолом и все содержимое (76 л) поступает в помещение. Кроме того, в течение расчетного времени отключения трубопроводов ЛВЖ поступает в помещение по трубопроводу.

## Пример расчета категории.

- Давление насыщенных паров определяется по формуле:

$$P_H = 10^{A \frac{B}{C_A + t_p}} = 10^{7,81158 \frac{1918,508}{252,125 + 25}} = 7,74 \text{ кПа}$$

- Интенсивность испарения с поверхности жидкости определяется по формуле:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 2,4 \cdot \sqrt{46,07} \cdot$$

$$7,74 = 12,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

## Пример расчета категории.

- Масса ларов жидкости, поступивших в помещение, равна массе жидкости, испарившейся с поверхности разлива:  $m = m_p$ . Время полного испарения жидкости определяется по формуле:

$$T_{ИСП}^{ПОЛН} = \frac{V_{Ж} \cdot \rho_{Ж}}{W \cdot F_{ИСП}} = \frac{1,733 \cdot 785}{12,6 \cdot 10^{-5} \cdot 50} = 215937,3 \quad c$$

- Так как время полного испарения жидкости более 3600 с, то для дальнейших расчетов принимается время испарения жидкости равным 3600 с. Масса горючих паров поступивших в помещение (без учета работы аварийной системы вентиляции) определяется по формуле:

$$m_p = W \cdot F_{ИСП} \cdot T_{ИСП} = 12,6 \cdot 10^{-5} \cdot 50 \cdot 3600 = 22,68 \quad кг$$

# Пример расчета категории.

- Плотность паров жидкости определяется по формуле:

$$\rho_{mн} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00376 \cdot t_p)} = \frac{46,07}{22,413 \cdot (1 + 0,00376 \cdot 25)} = 1,88 \frac{кг}{м^3}$$

- Свободный объем помещения определяется по формуле:

- $V_{св} = V_{пом} - V_{обор} = 2250 - 50 = 2200 \text{ м}^3$

- Стехиометрическая концентрация паров жидкости и стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания определяются по формулам:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_0}{2} = 2 + \frac{6}{4} - \frac{1}{2} = 3$$

$$C_{см} = \frac{100}{1 + 4,84\beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44$$

## Пример расчета категории.

- Коэффициент участия горючего во взрыве для ЛВЖ, нагретых выше температуры вспышки равен 0,3. Избыточное давление взрыва  $\Delta P$  для этанола определяется по формуле:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_m} \cdot \frac{100}{C_{CT}} =$$

$$(682 - 101) \cdot \frac{22,68 \cdot 0,3 \cdot 100}{2200 \cdot 1,8 \cdot 6,44} \cdot 0,33 = 5,06 \text{ кПа}$$

- Помещение относится к категории «А» по взрывопожарной и пожарной опасности.