

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ**  
**ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

**Кафедра "Безопасность полетов и жизнедеятельности"**

Т.Г. Феоктистова, И.Н. Мерзликин

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**  
**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**  
**для выполнения лабораторной работы**

**"ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ЗАЗОРЕ"**

Москва – 2010

В данном методическом пособии изложены методы определения экспериментально и расчетом величины тушащего зазора для заданной горючей паровоздушной смеси для определения категории взрывоопасности горючей смеси.

Пособие издается в соответствии с учебными планами и предназначено для студентов всех специальностей, изучающих дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная безопасность». Методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры "Безопасность полетов и жизнедеятельности" \_\_\_\_\_ 2013 г. и Методического совета МФ \_\_\_\_\_ 2013 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	Содержание и порядок выполнения работы . . . . .	4
2.	Краткая теоретическая часть . . . . .	4
3.	Расчет величины тушащего зазора . . . . .	7
4.	Описание лабораторной установки . . . . .	8
5.	Порядок проведения работы . . . . .	9
6.	Форма отчета по лабораторной работе . . . . .	11
	Контрольные вопросы . . . . .	12
	Литература . . . . .	12

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

### **"ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ЗАЗОРЕ"**

#### **Цель работы:**

- 1) изучение устройства и принципа действия стенда для исследования процесса тушения пламени в зазоре ОТ-7;
- 2) определение экспериментально и расчетом величины тушащего зазора для заданной горючей паровоздушной смеси;
- 3) определение категории горючей смеси по величине тушащего зазора.

Продолжительность работы - 2 часа.

#### **1. Содержание и порядок выполнения работы**

- 1.1. Изучить настоящие методические указания.
- 1.2. Ознакомиться с лабораторной установкой.
- 1.3. Рассчитать величину тушащего зазора для заданной горючей паровоздушной смеси.
- 1.4. Рассчитать стехиометрическую концентрацию исследуемой смеси.
- 1.5. Экспериментально определить величину тушащего зазора для заданной горючей смеси.
- 1.6. По величине тушащего зазора определить категорию горючей смеси.
- 1.7. Оформить отчет по лабораторной работе.
- 1.8. Ответить на контрольные вопросы и привести рабочее место в порядок.
- 1.9. Краткая теоретическая часть

#### **2. Краткая теоретическая часть**

Целый ряд производственных процессов в гражданской авиации применяют горючие газо-, паро-, пылевоздушные смеси. Опасность применения электрического оборудования во взрывоопасных помещениях и наружных установках состоит в появлении искр замыкания и размыкания, опасного нагрева наружной поверхности электрического оборудования и появлении электрических дуг.

Взрывоопасными, согласно Правилам устройства электротехнических установок (ПУЭ), считаются помещения, в которых перерабатываются или хранятся горючие газы, горючие жидкости с температурой вспышки  $45^{\circ}\text{C}$  и ниже, а также твердые горючие вещества в пылеобразном состоянии, если нижний предел воспламенения их равен или ниже  $65 \text{ г/м}^3$ . Условное обозначение таких помещений "В" – (взрывоопасное).

Если перерабатываются или хранятся горючие вещества, параметры которых выше указанных (жидкости с температурой вспышки более  $45^{\circ}\text{C}$  и т.д.), то такие помещения относятся к пожароопасным и обозначаются "П".

В зависимости от технологического процесса по взрыво-пожароопасности помещения и наружные установки классифицируются.

Для предотвращения пожара и взрыва от источников электрического происхождения во взрывоопасных помещениях устанавливают взрывозащищенное электрооборудование. Исполнение, применение и маркировка взрывозащищенного электрооборудования должно соответствовать ГОСТ 12.02.20-76 и Правилам изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИБРЭ).

Система специальных конструктивных средств и мер, обеспечивающих невозможность воспламенения взрывоопасной среды, называется уровнем взрывозащиты электрооборудования.

В зависимости от уровня взрывозащиты, взрывозащищенное электрооборудование подразделяется на следующие:

повышенной надежности против взрыва, обеспечивающее взрывозащиту только в нормальном режиме работы, обозначается 2 (по ПИБРЭ – Н);

взрывобезопасное, обеспечивающее взрывозащиту как при нормальном режиме работы, так и вероятных повреждениях, обозначается I (по ПИБРЭ – В);

особо взрывоопасное, в котором по отношению к взрывобезопасному приняты дополнительные средства взрывозащиты, обеспечивающие взрывозащиту при любых условиях эксплуатации электрооборудования, обозначается 0 (по ПИБРЭ – О).

Уровни взрывозащиты взрывозащищенного электрооборудования могут быть обеспечены различными видами исполнения взрывозащищенного оборудования.

Различают следующие виды исполнения:

**Взрывонепроницаемая оболочка**, способная выдержать давление взрыва внутри нее и предотвращающая распространение взрыва из оболочки в окружающую среду. Взрывозащита обеспечивается выполнением следующих требований к конструкции. Корпус электрического устройства делается прочным, способным выдержать давление взрыва горючей смеси ( $P=1$  Мпа). Для того чтобы предупредить воспламенение горючей смеси в помещении пламенем, выбрасываемым из корпуса (если в корпусе произойдет взрыв) через зазоры, величина их ограничивается. Величина зазоров должна быть меньше тушащего для данной смеси. Этот вид исполнения взрывозащиты обозначается *d* (по ПИБРЭ – В).

**Искробезопасная** электрическая цепь, электрический разряд или ее нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду. Искробезопасность такого оборудования обеспечивается специальными искрогасящими шунтами и ограничителями (конденсаторами, сопротивлениями, дросселями). Эти элементы электрической схемы уменьшают энергию искры при замыкании и размыкании цепи.

Величина ограничительных элементов схемы рассчитывается таким образом, чтобы ток в электрической цепи при замыкании должен быть в два

раза меньше воспламеняющего данную горючую смесь. Этот вид исполнения обозначается *i* (по ИИВРЭ – И).

**Заполнение или продувка под избыточным давлением** чистым воздухом или инертным газом, предотвращающее попадание в оболочку взрывоопасной смеси из окружающей среды. Обозначается *p* (по ПИВРЭ – Н).

**Масляное заполнение** оболочки (искрящие и неискрящие части погружены в масло или жидкий негорючий диэлектрик). Обозначается *o* (по ПИВРЭ – М).

**Кварцевое заполнение** оболочки посредством кварцевого песка. Обозначается *q* (по ПИВРЭ – К).

**Защита** вида "е" в электрооборудовании, не имеющем нормально искрящих частей, предусматривает принятие ряда мер, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических дуг, искр. Обозначается *e* (по ПИВРЭ – Н).

**Специальный вид** взрывозащиты основан на принципах, отличных от вышеуказанных, но достаточных для обеспечения взрывозащиты. Обозначается *S* (по ПИВРЭ – С).

В зависимости от способности передачи взрыва (выхода пламени) через зазоры в оболочке по ГОСТ 12.1.11-78 и ПИВРЭ устанавливаются категории взрывоопасных смесей по тушащему зазору (соответственно табл. 1 и 1а).

Таблица 1

по ГОСТ 12.1.11-78

Категория и наименование взрывоопасных смесей	Величина экспериментального безопасно максимального зазора, мм
I. Рудничный метан	Свыше 1,0
II. Промышленные газы и пары:	
IIА	Свыше 0,9
IIВ	Свыше 0,5 до 0,9 включ.
IIС	До 0,5

Безопасный экспериментальный максимальный зазор (БЭМЗ) - максимальный зазор между фланцами оболочки, через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации горючего в воздухе.

Таблица 1а

по ПИВРЭ

Категория взрывоопасных смесей	Зазор между плоскими поверхностями длиной 25 мм, при котором частота передачи взрывов составляет 50% при объеме оболочки 2,5 л, мм
1	Более 1,0
2	Свыше 0,65 до 1,0
3	Свыше 0,35 до 0,65
4	Менее 0,35

Температура наружных поверхностей электрооборудования, чтобы не произошло воспламенения при их нагреве, должна быть меньше температуры самовоспламенения для данной горючей смеси не только, при нормальном режиме работы, но и при перегрузках.

В зависимости от температуры самовоспламенения устанавливаются шесть групп взрывоопасных смесей согласно табл. 2.

Таблица 2

Группа взрывоопасной смеси	Температура самовоспламенения, °С
T1	Свыше 450
T2	300 до 450 включ.
T3	200 до 300
T4	135 до 200
T5	100 до 135
T6	85 до 100

В зависимости от области применения взрывозащитное электрооборудование делится на две группы:

I - рудничное, применяемое в шахтах, рудниках и т.д.;

II - взрывозащитное для помещений и наружных установок.

Маркировка взрывозащитного электрооборудования включает:

уровень взрывозащиты - 2, I, 0 (по ПИВРЭ-Н, В, О);

соответствие ГОСТу (знак  $E_x$ );

вид исполнения  $d, i, p, o, q, e, s$  (по ПИВРЭ - в треугольнике В, И, П, М, К, Н, С);

характеристика взрывоопасной среды (категория смеси) II, ПА, ПВ, ПС (по ПИВРЭ - I, 2, 3, 4);

наивысшая группа смеси по температуре самовоспламенения T1 - T6.

### 3. Расчет величины тушащего зазора

Согласно теории пределов распространения пламени, гашение его в узких каналах обусловлено отрицательным тепловым балансом зоны реакции.

В узких каналах потери тепла через стенки вызывают понижение температуры в зоне реакции и уменьшение скорости распространения пламени. При уменьшении диаметра канала увеличивается отношение поверхности теплообмена к объему зоны реакции. Когда потери тепла достигают критической величины, распространение пламени делается невозможным.

Пламегасящее действие узких каналов зависит в основном только от природы горючей смеси и не зависит от материала поверхности канала. На принципе гашения пламени в узких каналах основано действие щелевых огнепреградителей и взрывозащита в электрооборудовании исполнения "взрывонепроницаемая оболочка". Тушащий канал образуется узким зазором между фланцами и другими деталями электрооборудования, соединяющими внутренний объем аппарата с внешней средой.

Величина тушащего зазора определяется экспериментально для каждой горючей смеси.

Расчетную величину тушащего зазора определяют по критерию Пекле:

$$P_e = \frac{S_n \cdot \delta \cdot C_p \cdot \rho_0}{\lambda_0}, \quad \delta = \frac{P_e \cdot \lambda_0}{S_n \cdot C_p \cdot \rho_0}, \quad (1)$$

где  $S_n$  - нормальная скорость распространения пламени, м/с;

$P_e$  - критерий Пекле;

$\delta$  - диаметр (ширина) тушащего канала, м;

$C_p$  - удельная теплоемкость исходной смеси, Дж/кг·К;

$\rho_0$  - плотность исходной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_0$  - теплопроводность исходной смеси, Вт/(м·К).

На пределах гашения пламени критерий Пекле постоянен и равен  $234 \cdot 10^3$ . Таким образом, приняв  $Pe=234 \cdot 10^3$ , можно ориентировочно определить значение тушащего зазора  $\delta$ .

Точное значение ширины тушащего канала определяется экспериментом.

#### 4. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из:

корпуса толстостенного сосуда, рассчитанного на давление в 10 МПа;

системы зажигания горючей смеси;

системы для продувания полостей сосуда;

предохранительного щитка.

Сосуд состоит из двух полостей, каждая объемом 1,0 л.

В перегородке, разделяющей сосуд на полости, установлена коническая пробка. Хвостовик пробки ввернут в гайку с нанесенными на ее поверхность делениями. Градуировка лимба в миллиметрах. Выхлопные штуцера имеют приспособление для установки разрывных мембран из бумаги (кальки).

Каждая полость сосуда через клапан соединена с вентилятором для продувки бомбы от продуктов сгорания. Продувка включается нажатием кнопки "Продувка".

Зажигание горючей смеси производится искровым разрядом между электродами свечей, установленных в левой и правой полостях. Высокое напряжение на электроды подается нажатием кнопки "Зажигание" "лев." - для левой полости и "прав." - для правой полости сосуда.

Работает стенд следующим образом.

Через отверстие штуцеров закапывают определенное количество стехиометрической концентрации легко воспламеняющейся жидкости, например, ацетона.

Жидкость, попадая на верхний выступ, растекается по нему, далее попадает на нижний выступ и тоже растекается, при этом происходит интенсивное испарение.



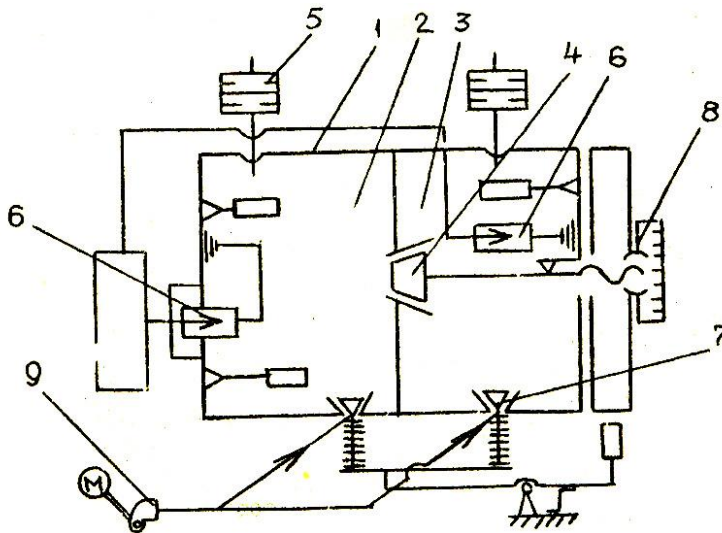


Рис. 1 . Схема установки для исследования процесса тушения пламени в зазоре:  
 1 - толстостенный сосуд; 2, 3 - полости сосуда; 4 - коническая пробка; 5 - штуцер для установки разрывной мембраны; 6 - система зажигания смеси; 7 - система продувки полости; 8- диск с делениями; 9 - вентилятор

По истечении определенного интервала времени, достаточного для испарения (2...5 мин), пары ацетона заполняют полость.

Поворотом гайки создают концентрический зазор. Величину зазора считывают с лимба. Установление зазора производится поворотом диска только в одну сторону, выбирая этим люфт в резьбе. Методом проб определяют зазор, при котором горение смеси в левой полости сосуда не вызывает воспламенения горючей смеси в правой полости.

## 5. Порядок выполнения работы

5.1. Рассчитывается количество горючей жидкости, необходимой для образования в полостях сосуда стехиометрической концентрации, по формуле

$$q = \frac{10 \cdot G_{CT} \cdot M \cdot V_n}{V_t \cdot \gamma_{ж}}, \quad (2)$$

где  $q$  - объем жидкости, испарение которого образует стехиометрическую паровоздушную смесь, мл;

$G_{CT}$  - стехиометрическая концентрация горючей жидкости (в эксперименте – ацетон), % об;

$M$  - молекулярная масса горючей жидкости /ацетон -  $M=58,08$ ;

$V_n$  - объем полости сосуда (в установке  $V_n = 1,0$  л);

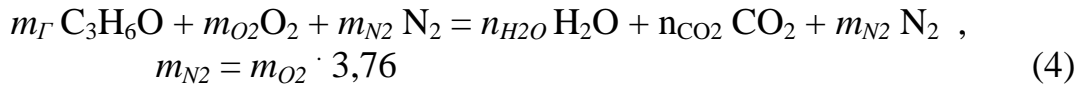
$V_t$  - объем моля, л (принять  $V_t=24,05$  л);

$\gamma_{ж}$  - удельная плотность жидкости, г/л (ацетон -  $\gamma_{ж}=790,8$  г/л).

Стехиометрическая концентрация горючей жидкости определяется

по формуле 
$$C_{CT} = \frac{100}{(m_{Г} + m_{O_2} + m_{N_2})}, \quad (3)$$

где  $m_{Г}$ ,  $m_{O_2}$ ,  $m_{N_2}$  - стехиометрические коэффициенты горючего, кислорода, азота, определяемые из уравнения окисления (горения) паров ацетона:



5.2. Рассчитывается зазор между плоскостями по формуле 1.

Исходные данные: ацетон,  $CH_3COCH_3$  . Молекулярная масса 58,08. Температура кипения  $56,2^{\circ}C$ . Температура самовоспламенения паров  $465^{\circ}C$ . Нормальная скорость распространения пламени 4200 м/с.

Теплоемкость горючей смеси  $C_p = 1,045 \cdot 10^3$  Дж/(мК). Теплопроводность горючей смеси  $\lambda_0 = 24 \cdot 10^{-3}$  Вт/(мК).

Область воспламенения 2,2 % об ...13 % об. Температурные пределы воспламенения: нижний  $-20^{\circ}C$ ; верхний  $+6^{\circ}C$ .

Плотность исходной смеси  $\rho_0 = 1,36$  кг/м<sup>3</sup>.

5.3. Продувается сосуд воздухом в течение 2 мин. Предварительно установку включить в сеть, нажав кнопку "вкл. сеть".

5.4. Установить по лимбу рассчитанный зазор между полостями.

5.5. В каждую полость сосуда через выхлопные штуцера залить необходимое количество горючей жидкости.

5.6. Закрыть отверстия выхлопных штуцеров мембранами из кальки.

5.7. Для образования смеси время выдержки от момента заливки жидкости до включения зажигания должно быть 3 мин.

5.8. Опустить защитный экран.

5.9. Через 3 мин. после заливки жидкости включить зажигание в левой полости бомбы, нажав кнопку "*лев. зажигание*". При этом должен произойти взрыв горючей смеси в левой полости (регистрируется по разрыву мембраны из кальки). При величине зазора больше тушащего зажигание смеси в левой полости приводит к зажиганию смеси в правой полости.

Если величина зазора между полостями меньше тушащего зазора, взрыва смеси в правой полости не произойдет. В этом случае, нажав кнопку "*прав. зажигание*" инициируют контрольный взрыв в правой полости.

Если эксперимент покажет, что расчетный зазор больше тушащего, необходимо следующий опыт провести с зазором на 0,05 мм меньше. Уменьшая зазор в каждом опыте на 0,05 мм, найти зазор, при котором передача взрыва не произойдет при повторении опыта 10 раз.

5.10. После контрольного взрыва произвести вентиляцию камер и подготовку к проведению следующего опыта. По величине тушащего зазора определяют категорию взрывоопасной смеси.

5.11. Оформить отчет по лабораторной работе, ответить на контрольные вопросы и привести рабочее место в порядок.

### 6. Форма отчета по лабораторной работе

#### "ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ЗАЗОРЕ"

1. Схема установки.
2. Расчет стехиометрической концентрации паровоздушной смеси по формуле (3) и объема заливаемой жидкости по формуле (2),
3. Расчет тушащего зазора по формуле (I)
4. Таблица экспериментальных данных:

Исследуемое вещество

Стехиометрическая концентрация

Таблица 3

№ опыта	Зазор, мм	Наличие взрыва при воспламенении в полостях		Контрольное воспламенение в правой полости
		левая полость	правая полость	
I				
2				
10				

Выводы: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 (подпись студента)

\_\_\_\_\_  
 (подпись преподавателя)

### Контрольные вопросы

1. Какие помещения считаются взрывоопасными?
2. Дайте определение взрывонепроницаемому электрооборудованию.
3. Назовите категории взрывоопасных смесей по тушащему зазору в зависимости от способности передачи взрыва.
4. Назовите виды взрывозащиты.
5. От чего зависит пламягасящее действие узких каналов?
6. Как устанавливается категория взрывоопасной смеси?
7. Расскажите устройство и принцип работы стенда.
8. Перечислите группы взрывоопасных смесей в зависимости от температуры самовоспламенения.

### Литература

1. Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования. ОАА.684.053 –67. - М.: Энергия, 1964.
2. ГОСТ 12.I.011-78\*.ССБТ. Смесей взрывоопасные. Классификация и методы испытаний
3. Методическое руководство к лабораторным работам по охране труда /под ред. П.А. Долина. - М.: Высшая школа, 1982.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) – 7 издание.