



# **ТЕМА 2.3 Расчетно-графическая работа по оценке возможности образования горючей среды внутри аппаратов с ЖИДКОСТЯМИ**



**УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Изучение методики расчета концентрации горючих паров в свободном пространстве аппарата за различные промежутки времени.
2. Выполнение расчетов по индивидуальному заданию.
3. Построение графика распределения концентрации горючих паров по высоте свободного пространства аппаратов в различные промежутки времени

**Учебные цели:**

Научиться расчетным путем определять возможность образования горючей среды в аппаратах с горючими жидкостями и оценки ее пожаровзрывоопасности



## ЛИТЕРАТУРА

### Основная:

1. Хорошилов О.А., Пелех М.Т., Бушнев Г.В., Иванов А.В. Пожарная безопасность технологических процессов: Учебное пособие / под общей редакцией В.С. Артамонова – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2012. – 300 с.
2. Пожарная безопасность технологических процессов. Учебник/ С.А. Горячев, С.В. Молчанов, В.П. Назаров и др.; Под общ. ред. В.П. Назарова и В.В. Рубцова; гриф МЧС России – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007.- 221 с.

### Дополнительная:

1. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. — М.: Недра, 1984. — 151с.
2. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : Справ.изд. в 2-х книгах / А.Н.Баратов, А.Я.Корольченко, Г.Н.Кравчук и др. М.: Химия, 1990г.
3. Пожарная безопасность технологических процессов: Лабораторный практикум /Киселев Я. С., Бушнев Г.В., Кибирев А.Г.; под общ. ред. В.С.Артамонова.- Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.2009г.- 80с.

### Нормативные документы:

1. ГОСТ Р 12.3.047 – 98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
2. ГОСТ 12.1.044 – 89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации утвержденные постановлением Правительства РФ от 25 апреля 2012г. №390



**ВОПРОС № 1:  
ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ  
РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ  
ГОРЮЧИХ ПАРОВ В  
СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ  
АППАРАТА ЗА РАЗЛИЧНЫЕ  
ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ**



## КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



К исходным данным относятся:

- геометрические размеры свободного объема закрытого технологического аппарата: объем, площадь испарения, высота паровоздушного пространства аппарата, степень заполнения аппарата;
- характеристики обрабатываемой жидкости: ВКПР, НКПР, ВТПР, НТПР, константы уравнения Антуана, коэффициент диффузии, относительный градиент концентрации;
- время испарения жидкости в свободном объеме закрытого технологического аппарата;
- рабочая температура жидкости в аппарате;
- атмосферное давление.



## КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Необходимо составить графики распределения концентрации паров по высоте свободного объема технологического аппарата.

Для этого необходимо сделать расчеты для трех значений высоты свободного объема технологического аппарата -  $0,25H$ ,  $0,5H$  и  $0,75H$  и трех значений времени.

Первое значение вычисляется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{H^2 (1 - \varphi_s)}{2D_t \cdot n \cdot (n + 1)} \quad (1)$$

где:  $H$  – высота паровоздушного пространства аппарата, м;

$\varphi_s$  – концентрация насыщенного пара, % об.;

$D_t$  – коэффициент диффузии паров жидкости,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$n$  – относительный градиент концентрации.

$$\tau_2 = 2 \cdot \tau_1$$

Второе значение времени – удвоенное первое, третье – утроенное.



## КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Распределение концентрации паров с плотностью выше плотности воздуха в свободном объеме технологических аппаратов с жидкостями описывается формулой:

$$\varphi_{Z,\tau} = \varphi_S \left\{ \left[ \left( \frac{Z}{H} \right)^n - 1 \right] \cdot e^{-\frac{n \cdot D_t \cdot F \cdot \tau}{V \cdot H}} + 1 \right\} \quad (2)$$

где:  $\varphi_S$  – концентрация насыщенного пара, % об.;

$Z$  – расстояние от крыши аппарата до точки, где концентрация паров равно  $\varphi_{Z,\tau}$ , м;

$H$  – высота свободного объема аппарата, м;

$n$  – относительный градиент концентрации на поверхности испарения;

$D_t$  – коэффициент диффузии,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$F$  – площадь испарения,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – объем парового пространства аппарата,  $\text{м}^3$ ;

$\tau$  – время испарения, с;

$e$  – основание натурального логарифма.



## КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



В формулах (2) и (3) концентрация насыщенного пара определяется по формуле:

$$\varphi_S = \frac{P_S}{P_P} \quad 100\%, \quad (3)$$

где:  $P_p$  – рабочее давление в аппарате, 101,3 кПа.

Давление насыщенного пара  $P$  рассчитывают по уравнению Антуана:

$$\lg P_S = A - \frac{B}{Ca + t} \quad (4)$$

где:  $P_S$  – давление насыщенного пара, кПа;

$A$ ,  $B$ ,  $Ca$  – константы Антуана индивидуальной ГЖ (справочные данные см. Приложение 2);

$t$  – рабочая температура жидкости в аппарате,  $^{\circ}\text{C}$ .



## КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



$$\tau_1 = \frac{H^2 (1 - \varphi_s)}{2D_t \cdot n \cdot (n + 1)}$$

где:  $H$  – высота паровоздушного пространства аппарата, м;  
 $\varphi_s$  – концентрация насыщенного пара, % об.;  
 $D_t$  – коэффициент диффузии паров жидкости,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  
 $n$  – относительный градиент концентрации.



## КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



$$\tau_1 = \frac{H^2 (1 - \varphi_s)}{2D_t \cdot n \cdot (n + 1)}$$

где:  $H$  – высота паровоздушного пространства аппарата, м;  
 $\varphi_s$  – концентрация насыщенного пара, % об.;  
 $D_t$  – коэффициент диффузии паров жидкости,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  
 $n$  – относительный градиент концентрации.



# ВОПРОС № 2: ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ



Кафедра пожарной безопасности  
технологических процессов и производств



№ п/п	Диаметр аппарата d, м	Высота аппарата h, м	Степень заполне ния $\xi$	$D_0$ , $\text{См}^2\text{с}^{-1}$	Вещество (ЛВЖ)
1	3,5	10	0,9	0,0775	Бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )
2	3	9	0,85	0,109	Ацетон ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ )
3	2,5	8	0,8	0,085	Этанол ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )
4	3	7	0,75	0,0503	Октан ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )
5	2,5	6	0,7	0,0663	Гексан ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )
6	2	5	0,7	0,0753	Толуол ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ) <sup>12</sup>



№ п/п	Жидкость	Химическая формула	Раб. Темпе- ратура °С	Константы уравнения Антуана		
				A	B	Ca
1.	Ацетон	$C_3H_6O$	40	6,37551	1281,721	237,088
2.	Бензол	$C_6H_6$	0	5,61391	902,275	178,099
3.	Гексан	$C_6H_{14}$	30	5,99517	1166,274	223,661
4.	Октан	$C_8H_{18}$	45	6,09396	1379,556	211,896
5.	Толуол	$C_7H_8$	40	6,0507	1328,171	217,713
6.	Этанол	$C_2H_5OH$	40	7,81158	1918,508	252,125



1. Найти стехиометрический коэффициент

$$\beta = C + \frac{H}{4} - \frac{O}{2}$$

где C, H, O – количество атомов углерода, водорода и кислорода в исходном веществе



2. Определить нижний и верхний  
концентрационный пределы распространения  
пламени

$$\varphi_{н,в} = \frac{100}{a \cdot \beta + b}$$

где  $a$ ,  $b$  – табличные значения:

	$a$	$b$
НКПР	8,684	4,679
ВКПР		
$\beta > 7,5$	0,768	6,554
$\beta \leq 7,5$	1,550	0,560



3. Определить давление насыщенного пара по уравнению Антуана, кПа

$$\lg P_s = A - \frac{B}{C_a + t}$$

где А, В и С<sub>а</sub> – константы уравнения Антуана(справочные данные), кПа  
t – температура жидкости в аппарате, °С.



## 4. Найти концентрацию насыщенного пара

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p}$$

где  $P_p$  – рабочее давление в аппарате, кПа



## 5. Определить коэффициент диффузии паров жидкости при рабочей температуре

$$D_t = D_0 \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^n \cdot \frac{P_p}{P_0}$$

где  $D_0$  – коэффициент диффузии газа или пара при н.у.

$T$  – рабочая температура жидкости, К

$n$  – относительный градиент концентраций ( $n=2$ )

$P_0$  – атмосферное давление, кПа



**6. Определить начальное время испарения с зеркала поверхности жидкости в аппарате**

$$\tau_1 = \frac{H^2 \cdot (1 - \varphi_s)}{2D_v \cdot n \cdot (n + 1)}$$

**облака до крышки аппарата**

**H – высота паровоздушного пространства аппарата, м**

**7. Принять последующие времена испарения**

$$\tau_2 = 2 \cdot \tau_1 \quad \tau_3 = 3 \cdot \tau_1$$



8. Вычислить коэффициент, отвечающий за изменение высоты свободного объема паровоздушного пространства

$$\varphi_{Z,\tau} = \varphi_S \left\{ \left[ \left( \frac{Z}{H} \right)^n - 1 \right] \cdot e^{-\frac{n \cdot D_t \cdot F \cdot \tau}{V \cdot H}} + 1 \right\}$$

где  $Z$  – расстояние от крышки аппарата до точки, в которой необходимо найти концентрацию паров:

$$x_i = \left( \frac{Z_i}{H} \right)^n - 1$$

в данной задаче принять  $Z_1 = 0,25 \cdot H$ ,  $Z_2 = 0,5 \cdot H$ ,  $Z_3 = 0,75 \cdot H$ .



**9. Вычислить коэффициент, отвечающий за распределение паров в различные промежутки времени**

$$y_i = e^{-\frac{n \cdot D_t \cdot F}{V \cdot H}}$$

где  $F$  – площадь испарения,  $\text{м}^2$ ,  
 $V$  – объем парового пространства аппарата,  $\text{м}^3$   
 $V = FH$

**10. Вычислить распределение концентрации паров в свободном объеме технологического аппарата для 3 значений высоты свободного объема и соответствующим времени испарения т.е. при  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  и т.д.**

$$\varphi_{Z,\tau} = \varphi_s \cdot (x_i \cdot y_i + 1)$$



**ВОПРОС № 3:  
ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРЮЧИХ  
ПАРОВ ПО ВЫСОТЕ  
СВОБОДНОГО  
ПРОСТРАНСТВА АППАРАТОВ  
В РАЗЛИЧНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ  
ВРЕМЕНИ**



**11. Получить по три значения концентрации паров для каждой высоты свободного объема технологического аппарата и построить три графика зависимости  $\phi(H)$  и Времени испарения.**

**12. Сделать вывод о состоянии паровоздушной среды в данном аппарате (пожароопасная или взрывопожароопасная в зависимости от НКПР и ВКПР) и предложить меры профилактики (или защиты) для снижения пожаро и взрывоопасности среды в объеме аппарата.**

**Например,** произвести флегматизацию паровоздушной среды инертными гагазами ( $\text{CO}_2$  или  $\text{N}_2$ ), установить дополнительную вытяжку, увеличить время насыщения с целью вывода полученной концентрации за верхний предел распространения пламени, то-есть в зону насыщения.

В этом случае делается дополнительный расчет концентрации для увеличенного времени насыщения.