Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования

«Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации»

# ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Задачник Часть 1

Иркутск

Восточно-Сибирский институт МВД России 2016

УДК 614.84

ББК 38.96

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГКОУ ВО «Восточно-Сибирский институт МВД России»

Рецензенты:

С.М. Колотушкин, профессор кафедры технико-криминалистического обеспечения экспертных исследований Московского университета МВД им. В.Я. Кикотя, доктор юридических наук, профессор

А.Г. Уланов, заместитель начальника отдела экспертизы материалов, веществ и изделий ЭКЦ ГУВД по Иркутской области

Пожарная и промышленная безопасность: задачник. В 2 ч. – ч. 1 / авт.-сост. Т.В. Удилов. – Иркутск: ФГКОУ ВО ВСИ МВД России, 2016. – 28 с.

Задачник разработан в соответствии с рабочей программой дисциплины «Пожарная и промышленная безопасность» по специальности 031003.65 Судебная экспертиза (специализация – инженерно-технические экспертизы). В работе представлены основные теоретические положения учебного материала, а также контрольные задания

Издано в авторской редакции

УДК 614.84

ББК 38.96

© Удилов Т.В., 2016

© ФГКОУ ВО «Восточно-Сибирский институт МВД России», 2016

# Оглавление

Введение 4

1. Количественная оценка пожаровзрывоопасности среды в аппаратах

с горючими жидкостями 5

1. Количественная оценка пожаровзрывоопасности среды в аппаратах

с горючими газами 7

1. Количественная оценка пожаровзрывоопасности среды в аппаратах

с горючими пылями 8

1. Количественная оценка размеров зон взрывоопасных концентраций при испарении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в

неподвижную среду 9

1. Количественная оценка размеров зон взрывоопасных концентраций при испарении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в

подвижную среду 9

1. Оценка количества выходящих горючих паров и размеров зон взрывоопасных концентраций при «большом» и «малом» дыханиях 10
2. Методики определения количества горючих веществ и площади растекания горючих жидкостей 12
3. Расчет избыточного давления взрыва для горючих газов, паров ЛВЖ

и ГЖ 14

Задачи 17

Список рекомендуемой литературы 24

# ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Пожарная и промышленная безопасность» является изучение принципов и способов обеспечения промышленной и пожарной безопасности на объектах промышленности, строительства и на транспорте, а также причин возникновения, закономерностей проявления и развития природных и техногенных аварий и катастроф.

Основными задачами дисциплины «Пожарная и промышленная безопасность» являются:

* изучение и освоение методик оценки пожаровзрывоопасности технологических процессов, зданий, сооружений и электрооборудования;
* изучение пожаровзрывоопасности среды внутри и снаружи технологического оборудования;
* изучение причин и закономерностей появления потенциальных источников зажигания при протекании технологических процессов;
* изучение способов и средств обеспечения пожаро- взрывобезопасности технологических процессов, зданий, сооружений и электрооборудования.

Дисциплина «Пожарная и промышленная безопасность» является дисциплиной базовой части С.3.1. профессионального цикла.

Для изучения дисциплины «Пожарная и промышленная безопасность» необходимы знания, умения и компетенции обучающегося, полученные при изучении «Органическая химия» (ОК-15, ПК-3, ПК-20),

«Методы судебно-экспертных исследований» (ОК-15, ПК-3),

«Термодинамика и теплопередача» (ОК-9, ПК-2, ПК-3, ПК-20), «Теория судебных инженерно-технических экспертиз» (ПК-1, ПСК-2.1).

В издании представлены учебные задачи, способствующие усвоению и закреплению пройденного материала по дисциплине «Пожарная и промышленная безопасность», а также даны методики количественной оценки пожарной опасности технологических аппаратов.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ СРЕДЫ В АППАРАТАХ С ГОРЮЧИМИ ЖИДКОСТЯМИ

Возможность образования взрывоопасных концентраций оценивают по условию пожаровзрывобезопасности, которое имеет следующий вид:

*н*

*г* ,*без*

**

 0,9**

 0,7*R*,

*R*  0,3

(1)

**  1,1**  0,7*R*,

*г* ,*без в*

*R*  0,6

(2)

где: *н* – нижний концентрационный предел распространения пламени, %; *в* – верхний концентрационный предел распространения пламени, %; *R* – воспроизводимость метода определения показателя пожарной опасности.

Исходя из условия пожаровзрывобезопасности, можно определить безопасные концентрации горючего (соответственно для нижнего и верхнего концентрационных пределов распространения пламени):

*нг* ,*без*  0,9**  0,7*R*; (3)

*н*

*вг* ,*без*  1,1**  0,7*R*.

*в*

(4)

Если рабочая температура в технологическом аппарате не равна 25оС, то значения нижнего и верхнего концентрационных пределов распространения пламени следует пересчитывать по следующим зависимостям:

*н*,*t*



**



*н*, 2981

*Tр*  298 

;

(5)

 1250 

*в* ,*t*



**



*в*, 2981

*Tр*  298 

.

(6)

 800 

где: *н,298* – величина нижнего концентрационного предела распространения пламени, определяемая по справочным данным, %;

*в,298* – величина верхнего концентрационного предела распространения пламени, определяемая по справочным данным, %; *Tр* – рабочая температура, К.

После определения безопасных концентраций горючего, они сравниваются с рабочей концентрацией горючего в технологическом оборудовании.

В случае однокомпонентной жидкости при длительном хранении горючей жидкости в паровоздушном объёме рабочая концентрация *(р)* равна концентрации насыщенного пара *(s)*.

Рабочую концентрацию паров определяют по формуле:

**  *Ps*

100,

(7)

*р*

*P*

*p*

где: *Ps* – давление насыщенных паров, кПа; *Pp* – рабочее давление в аппарате, кПа.

Давление насыщенных паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей определяют по уравнению Антуана:

*A* *B*

*Ps*  10

*C**t* ,

(8)

где: А, В, С – константы Антуана; t – расчетная температура, оС.

Для оценки пожаровзрывоопасности среды внутри аппаратов с нефтепродуктами давление насыщенных паров рассчитывают по

уравнению В.П. Сучкова:

*p*

*Ps* 

exp6,908  0,0443*t*

 0,924*t*

*всп*

 2,055

,

(9)

1047  7,48*tвсп*

где: *tвсп* – температура вспышки нефтепродукта, оС; *tp* – расчетная температура нефтепродукта, оС.

Для многокомпонентных горючих жидкостей рабочую концентрацию определяют по уравнению:

*n*

 *Ps* ,*i*

\*

**  *i*1 100,

*P*

*p*

*p*

(10)

где: *P\*s,i* – парциальное давление насыщенных паров *i*-го компонента, кПа; *Pp* – рабочее давление в аппарате, кПа.

Парциальное давление насыщенных паров i-го компонента определяют по закону Рауля:

*Ps*,*i*  *Ps*,*i*  *xi* ,

\*

(11)

где: *Ps,i* – давление насыщенных паров над поверхностью *i*-го компонента, (определяют по уравнению Антуана) кПа; *xi –* мольная доля *i*- го компонента.

Мольную долю *i*-го компонента определяют по формуле:

*mi*

*xi* 

*Mi* ,

*n m*

(12)

 *i i*1 *Mi*

где: *mi* – масса *i*-го компонента в растворе, кг; Mi – молярная масса *i*- го компонента.

Для смесей горючих веществ также следует рассчитывать значения нижнего и верхнего концентрационных пределов распространения пламени по формуле:

*n*

*k*

**  *k* 1 ,

(13)

*н* ( *в* ) *n *

 *k k* 1 *н* ( *в* )*к*

где: *k* – концентрация *k*-го компонента, %; *н(в)k* – величина нижнего (верхнего) концентрационного предела распространения пламени, %.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ СРЕДЫ В АППАРАТАХ С ГОРЮЧИМИ ГАЗАМИ

Условие пожаровзрывобезопасности аппаратов с горючими газами аналогично условию пожаровзрывобезопасности аппаратов с горючими жидкостями:

*н*

*г* ,*без*

**

 0,9**

 0,7*R*,

*R*  0,3

(14)

**  1,1**  0,7*R*,

*г* ,*без в*

*R*  0,6

(15)

где: *н* – нижний концентрационный предел распространения пламени, %; *в* – верхний концентрационный предел распространения пламени, %; *R* – воспроизводимость метода определения показателя пожарной опасности.

Рабочую концентрацию горючего газа в смеси с окислителем можно определить, исходя из материального баланса аппарата, по формулам:

*Vг*

**



*Vг*  *Vок*

*p*

100,

(16)

где: *Vг* – количество горючего газа в аппарате, м3; *Vок* – количество окислителя в аппарате, м3,

*Gг*

**



*Gг*  *Gок*

*p*

100,

(17)

где: *Gг* – расход горючего газа, м3с-1; *Gок* – расход окислителя в аппарате, м3с-1.

Для практических расчетов возникает необходимость определение массовой концентрации горючих паров или газов, которую можно определять по формуле:

**\*  **  *M* ,

*Vt*

(18)

где: * –* объемная концентрация, об. доля; *M* – молярная масса, кг·кмоль-1; *Vt*=22,413 м3 кмоль-1 – мольный объем паров или газов.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ СРЕДЫ В АППАРАТАХ С ГОРЮЧИМИ ПЫЛЯМИ

Горючая пыль может находиться в двух состояниях:

* + - аэровзвесь (во взвешенном состоянии в объёме воздуха);
    - аэрогель.

Критерием перехода пыли во взвешенное состояние является скорость витания. Скорость витания – минимальная скорость воздушного потока, воздействующего на частичку пыли, при которой эта частичка пыли не будет оседать.

Силу тяжести определяют по формуле:

**  *d* 3

*G*  **  *g*  , 6

*T*

*T*

(19)

где: *ρT –* плотность твердого вещества, кг м-3; *g* – ускорение

свободного падения; *d –* диаметр частички пыли, м.

Величину подъёмной силы определяют по формуле:

**  *d* 3

*Gп*  *г*  *g*  , 6

(20)

где: *ρг* – плотность газа (воздуха), кг·м-3. Гидравлическое сопротивление:

2

**

*R*  **  *F* **  ,

*г*

2

(21)

где:  – коэффициент гидравлического сопротивления;  – скорость воздушного потока, м·с-1; *F* – площадь сечения частички пыли по диаметру, м2.

Площадь сечения:

исходя из условия:

**  *d* 2

*F*  ,

4

(22)

*GT*  *Gп*  *R*,

(23)

получаем формулу для определения скорости витания:

**  . (24)

*T г*

4**  ** *d*  *g*

3  **  **

*г*

Условие пожаровзрывобезопасности для аппаратов с горючими пылями имеет следующий вид:

*н*

*г* ,*без*

**

 0,9**

 0,7*R*,

*R*  59

(25)

где: *н* – нижний концентрационный предел распространения пламени, %.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ЗОН ВЗРЫВООПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ ИСПАРЕНИИ

**ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В НЕПОДВИЖНУЮ СРЕДУ**

Количество испарившихся паров:

*D* **

31  **

*s*



*m*  2 **

*s*

 *F*  ** ,

(26)

где: *m* – количество испарившихся паров, кг; *s* – концентрация насыщенных паров при рабочей температуре, об.доля; *F* – площадь испарения, м2; *ρ* – плотность паров жидкости, кг·м-3; *D* – коэффициент диффузии, м2·с-1; *τ* – время испарения, с.

Плотность пара можно определять по следующей зависимости:

**  12,15 *M* ,

*T*

(27)

где: *ρ* – плотность пара, кг·м-3; *M* – молярная масса, кг·кмоль-1;

*T* – температура, К.

Интенсивность испарения с открытой поверхности жидкости в неподвижную среду определяют по формуле:

*Dt*

1  ** **

*s*

*Wин*

 1,155 **  **  *F* ,

(28)

где: *ρt* – плотность паров испаряющейся жидкости при рабочей температуре, кг·м-3; *F –* поверхность испарения, м2; *Dt* – коэффициент диффузии паров при температуре паровоздушной смеси, м2·с-1;

*s*

*t*

*τ* – продолжительность испарения, с.

# КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ЗОН ВЗРЫВООПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ ИСПАРЕНИИ

**ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОДВИЖНУЮ СРЕДУ**

Массу испарившихся паров можно также определить по известной формуле:

*m*  *W*  *F* ** , (29)

где: m – масса испарившихся паров, кг; W – интенсивность испарения, кгс-1м-2; F – площадь испарения, м2; τ – время испарения, с.

В свою очередь, интенсивность испарения определяют по зависимости:

*Wип*

 106 ** 

*M*  *Ps* ,

(30)

где: *W* – интенсивность испарения, кгс-1м-2; *η* – коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения, определяется по табл. 1. (при отсутствии воздушного потока коэффициент равен 1); *M* – молярная масса, кг·кмоль-1; *Ps* – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

Значения коэффициента **

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость воздушного потока в помещении, мс-1 | Значение коэффициента ** 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 |

# ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ВЫХОДЯЩИХ ГОРЮЧИХ ПАРОВ И РАЗМЕРОВ ЗОН ВЗРЫВООПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ

**«БОЛЬШОМ» И «МАЛОМ» ДЫХАНИЯХ**

**Расчет потерь при «большом» дыхании**

При «большом» дыхании: P1=P2; T1=T2; 1=2; V1≠V2.

Количество выходящих паров при «большом дыхании» определяют по формуле:

*P*

*G*  *V p *

*б*

*Tp*

*M* ,

*s* 8314,31

(31)

где: *Gб* – масса горючих паров, вышедших из емкости, кг;

*∆V* – изменение объема, м3; *Pp* – рабочее давление, Па; *Tp* – рабочая

температура, К; *s* – концентрация насыщенных паров при рабочей температуре, об. доли; *M* – молярная масса горючей жидкости, кг·кмоль-1.

Объем взрывоопасной зоны определяют по уравнению:

*Vвз*

 *Gб* ,

* н* \*

(32)

*г* ,*без*

где: *н \** – массовая безопасная концентрация паров, кг·м3.

*г,без*

Безопасную концентрацию горючих паров определяем по уравнению:

*н* \*

**

*г* ,*без*

*н*  *M*

 *г* ,*без* ,

**

*V*

(33)

*н*

где: **

*г,без*

*t*

– безопасная концентрация паров, об. доля;

*Vt*=22,413 м3·кмоль-1 – мольный объем.

Безопасную концентрацию горючих паров определяем по уравнению:

*н*

* н*

*г* ,*без*

 0,9**

 0,7*R*,

(34)

где: *н* – нижний концентрационный предел распространения пламени, %; *R*=0,3 % – воспроизводимость метода определения показателя пожарной опасности.

# Расчет потерь при «малом» дыхании

При «малом» дыхании: P1=P2; T1≠T2; 1≠2; V1=V2.

При “малом” дыхании количество выходящих паров определяют по следующей формуле:

  **  **  **

*Gм*  *Vсв*

2

1

*Pp* 

1  1

*M*

 *ср*  ,

(35)

 *T*1

*T*2 1  *ср* 8314,31

где: *Gм* – масса горючих паров, вышедших из емкости, кг; *Vсв* – величина свободного объема, м3; *Pp* – рабочее давление, Па; *T1* – начальная температура, К; *T2* – конечная температура, К;

*1* – начальная концентрация насыщенных паров, об. доля; *1* – конечная концентрация насыщенных паров, об. доля; *ср* – средняя концентрация насыщенных паров, об. доля; *M* – молярная масса, кг·кмоль-1.

В свою очередь среднюю концентрацию насыщенных паров определяют:

 **1  **2 ,

**

*ср* 2

(36)

Объем взрывоопасной зоны определяют по уравнению:

*Vвз*

*Gб*

*н г* ,*без*

**



,

(37)

где: *нг,без\** – массовая безопасная концентрация паров, кг·м3.

# МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И ПЛОЩАДИ РАСТЕКАНИЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

**Количество горючих веществ, вышедших из технологического оборудования при полном повреждении**

Количество горючих веществ, вышедших из технологического оборудования при полном повреждении определяют по формуле:

*Gп*  *Gап* *G**тр* *G* *тр* ,

(38)

где: *Gп* – количество веществ, вышедших из технологического оборудования при полном разрушении, кг; *Gап* – количество веществ, вышедших из разрушенного аппарата, кг; Gтр – количество веществ, вышедших из трубопроводов до их отключения, кг; Gтр – количество веществ, вышедших из трубопроводов после их отключения, кг.

Количество веществ, выходящих из разрушенного аппарата (кг) определяют по формуле:

*Gап*

 ** *V*

 **,

(39)

где: *ε* – степень заполнения аппарата, об. доля; *Vап* – объем аппарата, м3; *ρ* – плотность вещества, кг м-3.

*ап*

Количество веществ, выходящих из трубопроводов до их отключения определяют по формуле:

 *q*  ** ** , (40)

*G*

*тр*

где: *q* – интенсивность поступления веществ по трубопроводам, м3·с-1; *ρ* – плотность вещества, кг·м-3; *τ* – время поступления веществ по трубопроводам до их отключения, с.

Количество веществ, выходящих из трубопроводов после их отключения определяют по формуле:

*Gтр*

*V* **,

(41)

где: *Vтр* – объем трубопроводов, м3; *ρ* – плотность вещества, кг м-3.

*тр*

# Количество горючих веществ, вышедших из технологического оборудования при локальном повреждении

Количество горючих веществ, вышедших из технологического оборудования при локальном повреждении определяют по формуле:

*Gлок*

 **  *w*  *f*  ** ** ,

(42)

где: *Gлок* – количество веществ, вышедших из технологического оборудования при локальном разрушении, кг; *μ* – коэффициент расхода (допускается принимать равным 0,7); *f* – площадь отверстия, через которое происходит истечение, м2; *w* – скорость истечения вещества, м·с-1; *ρ* – плотность вещества, кг·м-3; *τ* – время до ликвидации аварии, с.

Скорость истечения для горючих жидкостей определяют по формуле:

*w*  , (43)

2*g*  *Hпр*

где: *g* – ускорение свободного падения, *g=*9,81 м·с-2;

*Hпр* – приведенный напор жидкости, м.

При истечении самотеком *Hпр=H* (*H* – высота столба жидкости, м). При работе аппарата под давлением:

*P*

*Hпр* 

*p*,*и*

**  *g*

*t*

* *H* ,

(44)

где: *Pp,и* – избыточное рабочее давление среды в аппарате, Па; *ρt* – плотность жидкости при рабочей температуре, кг·м-3; *H* – высота столба жидкости, м.

Скорость истечения для горючих газов зависит от режима истечения.

Режим истечения определяют исходя из соотношения:

*К*

*Pкр*

 *P*

2  *К* 1



 *К* 1



, (45)

где: *Pкр* – критическое давление, Па; *K –* показатель адиабаты;

*P –* рабочее давление в технологическом аппарате, Па.

Если *P0>Pкр*, то истечение будет происходить с докритическом скоростью, определяемой по формуле:

*wдокр* 

, (46)

2  *К*

*К* 1

*P* ** 1 









 

 

*о*

*P*

*К* 1 

*К*

 

*P*







где: *wдокр* – скорость истечения в докритическом режиме, м·с-1; *K* – показатель адиабаты; υ – удельный объем, м3·кг-1; *P* – рабочее давление в технологическом аппарате, Па; *Po* – атмосферное давление, Па.

Если *P0<Pкр*, то истечение будет происходить с критическом скоростью, определяемой по формуле:

2  *K P* ** ,

*K* 1

*wкр* 

(47)

где: *wкр* – скорость истечения в критическом режиме, м·с-1; *K* – показатель адиабаты;  – удельный объем, м3·кг-1; *P* – рабочее давление в технологическом аппарате, Па.

# РАСЧЕТ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА ДЛЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ, ПАРОВ ЛВЖ И ГЖ

Избыточное давление взрыва *Р* для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, С1, Вr, I, F, определяется по формуле:

*P*  *P*

max

 *P* 

*m*  *Z Vсв*  *гп*

 100  1 ,

*Сст Kн*

(48)

где: *Рmax –* максимальное давление взрыва стехиометрической

0

газовоздушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных допускается принимать *Рmax* равным 900 кПа; *Р0 –* начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); *т –* масса паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг; *Z –* коэффициент участия горючего во взрыве, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения согласно табл. 2; *Vсв –* свободный объем помещения, м3 (допускается принимать равным 80% от геометрического объема помещения); **г.п *–* плотность газа или пара при расчетной температуре,

кг·м-3; *С*ст *–* стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % (об.);

*Кн –* коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать *Кн*=3.

Таблица 2

Значения Z

|  |  |
| --- | --- |
| 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 |

Плотность газа или пара при расчетной температуре *tp*, вычисляют по формуле:

**  *M* ,

*г* ,*п V* 1 0,00367  *t* 

0

*p*

(49)

где: *М –* молярная масса, кгкмоль-1; *V0 –* мольный объем, равный 22,413 м3кмоль-1; *tp* – расчетная температура, С.

Стехиометрическую концентрацию ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ вычисляют по уравнению:

*Cст*

 100 , 1  4,84**

(50)

где: *β* – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания, который определяют как:

**  *n*

*c*

* *nc*  *nx*

4

 *n*0 , 2

(51)

где: *nc, nh, no, nx* – число атомов С, Н, О и галогенов в молекуле горючего.

# Расчет Р для других индивидуальных веществ, кроме упомянутых выше, а также для смесей может быть выполнен по формуле:

*P* 

*m* *H т**P*0  *Z Vсв*  *в*  *Сp* *T* 0

 1 ,

*Kн*

(52)

где: *Н*т – теплота сгорания, Джкг-1; *в –* плотность воздуха до взрыва при начальной температуре *Т0*, кгм-3; *Ср* – теплоемкость воздуха, Джкг-1К-1 (допускается принимать равной 1,01103 Дж кг-1К-1); P0 – начальное давление, кПа (допускается принимать 101 кПа); m – масса горючих веществ, вышедших в помещение при аварии, кг; Z – коэффициент участия горючего во взрыве, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения; *Vсв –* свободный объем помещения, м3 (допускается принимать равным 80% от геометрического объема помещения); *Кн –* коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать *Кн* равным 3. *Т0 –* начальная температура воздуха, К.

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

*г*

*m*  *V*

*а*

 *Vт*

 ** ,

(53)

где: *Vа –* объем газа, вышедшего из аппарата, м3; *V*т – объем газа, вышедшего из трубопроводов, м; *ρг –* плотность горючего газа, кгм-3.

При этом:

*V*а = 0,01*Р1V*, (54)

где: *P1 –* давление в аппарате, кПа; *V –* объем аппарата, м3;

*V*т = *V1*т + *V2*т, (55)

где: *V1*т *–* объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м3; *V2*т *–* объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м3;

*V1*т *= qT* (56)

где: *q –* расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т.д., м3с-1; *Т –* время, до отключения трубопровода, с;

*V2*т = 0,01 * Р2*(*r2 L* + *r2 L* + ... + *r2 L* ), (57)

*1 1 2 2 n n*

где: *P2 –* максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа; *r –* внутренний радиус трубопроводов, м; *L* – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

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

*m*  *mp*  *mемк*  *mсв*.*окр* ,

(58)

где: *mр –* масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг; *темк –* масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг; *тсв.окр –* масса жидкости, испарившейся с поверхностей, на которые нанесен применяемый состав, кг.

При этом каждое из слагаемых определяют по формуле:

*m*  *W*  *Fи*

** ,

(59)

где: *m –* масса испарившейся жидкости, кг; *W –* интенсивность испарения, кгс-1м-2; *Fи* – площадь испарения, м2; τ – время испарения, с.

Интенсивность испарения *W* определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать *W* no формуле:

*M*

*W*  106 ** 

 *Pн* ,

(60)

где: * –* коэффициент, принимаемый по табл. 1 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения; *М –* молярная масса, кгкмоль-1; *Рн –* давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости *tр*.

# ЗАДАЧИ

Задача 1. При окраске методом окунания изделия погружают в ванну с лакокрасочным материалом (ЛКМ). Площадь поверхности испарения ванны 4 м2. Определить количество испарившегося с поверхности ЛКМ растворителя за час работы при отсутствии движения воздуха над ней. Вид растворителя – *ацетон* (*С3Н6О*), температура воздуха в помещении to=*20оС*, температура растворителя tp=*15оС*. Пожароопасные свойства ЛКМ

принять по растворителю. Коэффициент диффузии пара в воздух D=0,109 см2·с-1. Постоянные Антуана для ацетона: *А=6,37551; В=1281,721; С=237,088*. Нижний конц. предел распр. пл. 2,7 %.

Задача 2. При окраске методом окунания изделия погружают в ванну с лакокрасочным материалом (ЛКМ). Площадь поверхности испарения ванны 4 м2. Определить количество испарившегося с поверхности ЛКМ растворителя за час работы при отсутствии движения воздуха над ней. Вид растворителя – *этанол* (*С2Н6О*), температура воздуха в помещении t0=*20оС*, температура растворителя tp=*10оС*. Пожароопасные свойства ЛКМ принять по растворителю. Коэффициент диффузии пара в воздух D=0,132 см2·с-1. Постоянные Антуана для этанола: *А=7,81158; В=1918,508; С=252,125*.

Нижний конц. предел распр. пл. 3,6 %.

Задача 3. При окраске методом окунания изделия погружают в ванну с лакокрасочным материалом (ЛКМ). Площадь поверхности испарения ванны 4 м2. Определить количество испарившегося с поверхности ЛКМ растворителя за час работы при отсутствии движения воздуха над ней. Вид растворителя – *метанол* (*СН4О*), температура воздуха в помещении

to=*22оС*, температура растворителя tp=*15оС*. Пожароопасные свойства ЛКМ

принять по растворителю. Коэффициент диффузии пара в воздух D=0,162 см2·с-1. Постоянные Антуана для метанола: *А=7,3527; В=1660,454; С=245,818*. Нижний конц. предел распр. пл. 6,98 %.

Задача 4. При окраске методом окунания изделия погружают в ванну с лакокрасочным материалом (ЛКМ). Площадь поверхности испарения ванны 4 м2. Определить количество испарившегося с поверхности ЛКМ растворителя за час работы при отсутствии движения воздуха над ней. Вид растворителя – *толуол* (*С7Н8*), температура воздуха в помещении to=*20оС*, температура растворителя tp=*5оС*. Пожароопасные свойства ЛКМ принять по растворителю. Коэффициент диффузии пара в воздух D=0,0753 см2·с-1. Постоянные Антуана для толуола: *А=6,0507; В=1328,171; С=217,713*.

Нижний конц. предел распр. пл. 1,27 %.

Задача 5. При окраске методом окунания изделия погружают в ванну с лакокрасочным материалом (ЛКМ). Площадь поверхности испарения ванны 4 м2. Определить количество испарившегося с поверхности ЛКМ растворителя за час работы при отсутствии движения воздуха над ней. Вид растворителя – *этилацетат* (С4Н8О2), температура воздуха в помещении

to=24оС, температура растворителя tp=20оС. Пожароопасные свойства ЛКМ

принять по растворителю. Коэффициент диффузии пара в воздух D=0,082 см2·с-1. Постоянные Антуана для этилацетата: А=6,22672; В=1244,951; С=217,881. Нижний конц. предел распр. пл. 2,0 %.

Задача 6. При повреждении аппарата в объем, ограниченный бортиками, площадью 5 м2 вылилось 50 кг *ацетона* (*С3Н6О*). Определить количество испарившейся с открытой поверхности жидкости в подвижную среду воздуха. Температура ЛВЖ tp*=15оС*, равна температуре воздуха в помещении. Принять, что испарение жидкости происходит в течение часа при работающей вентиляции, скорость движения воздуха над поверхностью испарения 0,5 м*·*с-1. Значение коэффициента ** принять равным 5,7. Постоянные Антуана для ацетона: *А=6,37551; В=1281,721; С=237,088*. Нижний конц. предел распр. пл. 2,7 %.

Задача 7. При повреждении аппарата в объем, ограниченный бортиками, площадью 12 м2 вылилось 50 кг *этанола* (*С2Н6О*). Определить количество испарившейся с открытой поверхности жидкости в подвижную среду воздуха. Температура ЛВЖ tp*=15оС*, равна температуре воздуха в помещении. Принять, что испарение жидкости происходит в течение часа при работающей вентиляции, скорость движения воздуха над поверхностью испарения 0,5 м*·*с-1. Значение коэффициента ** принять равным 5,7. Постоянные Антуана для этанола: *А=7,81158; В=1918,508; С=252,125*. Нижний конц. предел распр. пл. 3,6 %.

Задача 8. При повреждении аппарата в объем, ограниченный бортиками, площадью 8 м2 вылилось 50 кг *метанола* (*СН4О*). Определить количество испарившейся с открытой поверхности жидкости в подвижную среду воздуха. Температура ЛВЖ tp*=15оС*, равна температуре воздуха в помещении. Принять, что испарение жидкости происходит в течение часа при работающей вентиляции, скорость движения воздуха над поверхностью испарения 0,5 м*·*с-1. Значение коэффициента ** принять равным 5,7. Постоянные Антуана для метанола: *А=7,3527; В=1660,454; С=245,818*. Нижний конц. предел распр. пл. 6,98 %.

Задача 9. При повреждении аппарата в объем, ограниченный бортиками, площадью 5 м2 вылилось 50 кг *толуола* (*С7Н8*). Определить количество испарившейся с открытой поверхности жидкости в подвижную среду воздуха. Температура ЛВЖ tp*=10оС*. Испарение жидкости происходит в течение часа, скорость движения воздуха над поверхностью испарения 0,5 м*·*с-1. Значение коэффициента ** принять равным 6,6. Постоянные Антуана для толуола: *А=6,0507; В=1328,171; С=217,713*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,27 %.

Задача 10. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с бензолом (*С6Н6*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*1000 м3*, степень его заполнения *ε*=*0,75*, температура жидкости *tp*=*10оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для бензола: *А=5,61391; В=902,275; С=178,09*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,43 %.

Задача 11. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с ацетоном (*С3Н6О*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*800 м3*, степень его заполнения *0,9*, температура жидкости *tp*=*20оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для ацетона: *А=6,37551; В=1281,721;*

*С=237,088*. Нижний конц. предел распр. пл. 2,7 %.

Задача 12. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с этиловым спиртом (*С2Н6О*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *1000 м3*, степень его заполнения *ε*=*0,75*, температура жидкости *tp*=*10оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для этанола: *А=7,81158; В=1918,508;*

*С=252,125*. Нижний конц. предел распр. пл. 3,6 %.

Задача 13. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с гептаном (*С7Н16*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*500 м3*, степень его заполнения *ε*=*0,75*, температура жидкости *tp*=*15оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для гептана: *А=6,07647; В=1295,405;*

*С=219,819*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,07 %.

Задача 14. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с октаном (*С8Н18*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*500 м3*, степень его заполнения ε=*0,5*, температура жидкости *tp=15оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для октана: *А=6,09396; В=1379,556;*

*С=211,896*. Нижний конц. предел распр. пл. 0,9 %.

Задача 15. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с гептаном (*С7Н16*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*700 м3*, степень его заполнения ε=*0,85*, температура жидкости *tp=20оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для гептана: *А=6,07647; В=1295,405;*

*С=219,819*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,07 %.

Задача 16. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с метиловым спиртом (*СН4О*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*1000 м3*, степень его заполнения ε=*0,75*, температура жидкости *tp=10оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для метанола: *А=7,3527; В=1660,454; С=245,818*. Нижний конц. предел распр. пл. 6,98%.

Задача 17. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с этиловым спиртом (*С2Н6О*), если в течение часа произошло одно большое дыхание. Объем резервуара *V*=*1500 м3*, степень его заполнения ε=*0,85*, температура жидкости *tp*=*20оС*, рабочее давление

*Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для этанола: *А=7,81158; В=1918,508; С=252,125*. Нижний конц. предел распр. пл. 3,6%.

Задача 18. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с бензолом (*С6Н6*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10 оС. Объем резервуара *V*=*1000 м3*, степень его заполнения ε=*0,75*, температура жидкости *tp*=*10оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для бензола: *А=5,61391; В=902,275; С=178,09*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,43%.

Задача 19. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства с аппарата ацетоном (*С3Н6О*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10оС. Объем резервуара *V*=*800 м3*, степень его заполнения ε=*0,9*, температура жидкости *tp*=*20оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для ацетона: *А=6,37551; В=1281,721; С=237,088*. Нижний конц. предел распр. пл. 2,7 %.

Задача 20. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с этиловым спиртом (*С2Н6О*), если в течение часа

произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре

на 10оС. Объем резервуара *V*=*1000м3*, степень его заполнения ** =*0,75*, температура жидкости *tp*=*10оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные

Антуана для этанола: *А=7,81158; В=1918,508; С=252,125*. Нижний конц. предел распр. пл. 3,6 %.

Задача 21. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с гептаном (*С7Н16*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10 оС. Объем резервуара *V*=*500 м3*, степень его заполнения *ε*=*0,75*, температура жидкости *tp*=*15оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для гептана: *А=6,07647; В=1295,405; С=219,819*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,07 %.

Задача 22. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с октаном (*С8Н18*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10 оС. Объем резервуара *V*=*500 м3*, степень его заполнения ε=*0,5*, температура жидкости *tp*=*15оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для октана: *А=6,09396; В=1379,556; С=211,896*. Нижний конц. предел распр. пл. 0,9 %.

Задача 23. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с гептаном (*С7Н16*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10 оС. Объем резервуара *V*=*700 м3*, степень его заполнения *ε*=*0,85*, температура жидкости *tp*=*20оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для гептана: *А=6,07647; В=1295,405; С=219,819*. Нижний конц. предел распр. пл. 1,07 %.

Задача 24. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с метиловым спиртом (*СН4О*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10оС. Объем резервуара *V*=*1000м3*, степень его заполнения ε=*0,75*, температура жидкости *tp*=*10оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для метанола: *А=7,3527; В=1660,454; С=245,818*. Нижний конц. предел распр. пл. 6,98%.

Задача 25. Оценить объем взрывоопасной зоны вблизи дыхательного устройства аппарата с *этиловым спиртом* (*С2Н6О*), если в течение часа произошло одно малое дыхание при повышении температуры в резервуаре на 10оС. Объем резервуара *V*=*1500м3*, степень его заполнения *ε*=*0,85*, температура жидкости *tp*=*20оС*, рабочее давление *Pp*=*1·105 Па*. Постоянные Антуана для этанола: *А=7,81158; В=1918,508; С=252,125*. Нижний конц. предел распр. пл. 3,6 %.

Задача 26. Определить общее количество *этилацетата* (С4Н8О2), выходящего при полном разрушении аппарата, в который жидкость подавалась по двум трубопроводам. Объем аппарата *Vап*=0,6 м3, его степень заполнения *ε*=0,85. Температура ЛВЖ *tp*=10оС, диаметр трубопроводов *Dтр*=0,12 м. Расход насосов *q1*=1,4 м3·ч-1 и *q2*=2,2 м3·ч-1. Плотность *ρ*=902 кг·м-3. Время отключения трубопроводов принять

равным 120 с, время испарения разлившейся жидкости 1 ч, расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 7 м; принять, что 1 л горючей жидкости разливается на 1 м2. Жидкость находится в аппарате при атмосферном давлении.

Задача 27. Определить общее количество *этанола* (*С2Н6О*), выходящего при полном разрушении аппарата, в который жидкость подавалась по двум трубопроводам. Объем аппарата *Vап=0,9 м3*, его степень заполнения *ε*=0,75. Температура ЛВЖ *tp=20оС*, диаметр трубопроводов *Dтр=0,085 м*. Расход насосов *q1=1,3 м3·ч-1* и *q2=1,6 м3·ч-1*. Плотность *ρ*=785 кг*·м-3.*Время отключения трубопроводов принять равным

120 с, время испарения разлившейся жидкости 1 ч, расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 5 м; принять, что 1 л горючей жидкости разливается на 1 м2. Жидкость находится в аппарате при атмосферном давлении.

Задача 28. Определить общее количество *метанола* (*СН4О*), выходящего при полном разрушении аппарата, в который жидкость подавалась по двум трубопроводам. Объем аппарата *Vап=0,85 м3*, его степень заполнения *ε*=0,75. Температура ЛВЖ *tp=15оС*, диаметр трубопроводов *Dтр =0,1 м*. Расход насосов *q1=1,5 м3·ч-1* и *q2=1,2 м3·ч-1*. Плотность *ρ*=786,9 кг*·м-3.* Время отключения трубопроводов принять

равным 120 с, время испарения разлившейся жидкости 1 ч, расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 12 м; принять, что 1 л горючей жидкости разливается на 1 м2. Жидкость находится в аппарате при атмосферном давлении.

Задача 29. Определить общее количество *толуола* (*С7Н8*), выходящего при полном разрушении аппарата, в который жидкость подавалась по двум трубопроводам. Объем аппарата *Vап=0,7 м3*, его степень заполнения *ε*=0,75. Температура ЛВЖ *tp=10оС*, диаметр трубопроводов *Dтр=0,125 м*. Расход насосов *q1=1,2 м3·ч-1* и *q2=2,0 м3·ч-1*. Плотность ρ=866,94 кг*·м-3.* Время отключения трубопроводов принять

равным 120 с, время испарения разлившейся жидкости 1 ч, расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 10 м; принять, что 1 л горючей жидкости разливается на 1 м2. Жидкость находится в аппарате при атмосферном давлении.

Задача 30. Определить общее количество *ацетона* (*С3Н6О*), выходящего при полном разрушении аппарата, в который жидкость подавалась по двум трубопроводам. Объем аппарата *Vап=0,8 м3*, его степень заполнения *ε* =0,75. Температура ЛВЖ *tp=10оС*, диаметр трубопроводов *Dтр=0,1 м*. Расход насосов *q1=1,5 м3·ч-1* и *q2=2,5 м3·ч-1*. Плотность *ρ*=790,8 кг*·м-3.* Время отключения трубопроводов принять

равным 120 с, время испарения разлившейся жидкости 1 ч, расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 10 м; принять, что 1 л горючей жидкости разливается на 1 м2. Жидкость находится в аппарате при атмосферном давлении.

Задача 31. При повреждении аппарата в объем, ограниченный бортиками, площадью 12 м2 вылилось 50 кг *этилацетата* (*С4Н8О2*). Определить количество испарившейся с открытой поверхности жидкости в подвижную среду воздуха. Температура ЛВЖ *tp=10оС*, равна температуре воздуха в помещении. Принять, что испарение жидкости происходит в течение часа при работающей вентиляции, скорость движения воздуха над поверхностью испарения 0,5 м с-1. Значение коэффициента ** принять равным 6,6. Постоянные Антуана для этилацетата: *А=6,22672; В=1244,951; С=217,881*. Нижний конц. предел распр. пл. 2,0 %.

Задача 32. Определить общее количество *гептана* (*С7Н16*), выходящего при полном разрушении аппарата, в который жидкость подавалась по двум трубопроводам. Объем аппарата *Vап=1 м3*, степень его заполнения *ε*=0,75. Температура ЛВЖ *tp=10оС*, диаметр трубопроводов *Dтр=0,12 м*. Расход насосов *q1=1,0 м3·ч-1* и *q2=1,5 м3·ч-1*. Плотность *ρ*=683,76 кг*·м-3.* Время отключения трубопроводов принять равным 120 с,

время испарения разлившейся жидкости 1 ч, расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 10 м; принять, что 1 л горючей жидкости разливается на 1 м2. Жидкость находится в аппарате при атмосферном давлении.

# СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Государственный стандарт, 1992. – 78 с.
2. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Издательство стандартов, 1989.
3. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
4. Корольченко, А.Я**.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения [Текст]: справочник: в 2 ч. / А. Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – Ч. 1. – 709 с.
5. Корольченко, А.Я**.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения [Текст]: справочник: в 2 ч. / А. Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – Ч. 2. – 757 с.

*Учебное издание*

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Часть 1

Автор-составитель

**Удилов** Тимофей Васильевич

Подписано в печать Формат 60х84/16

Усл.печ.л. Тираж 30 экз. Заказ №

НИиРИО ФГКОУ ВО «Восточно-Сибирский институт МВД России», ул. Лермонтова, 110