

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Христофоров Е.Н.

**ПРАКТИКУМ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Брянск – 2015

УДК 628.74
ББК 38.96.67.99.(2)
X 93

Христофоров Е.Н. ПРАКТИКУМ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ: Учебное пособие /Е.Н. Христофоров. – Брянск.: Издательство ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», 2015. –84 с.

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления 280700 (20.03.01) Техносферная безопасность, изучающих дисциплину «Пожарная безопасность», а также для студентов очной и заочной формы обучения изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

Учебное пособие является дополнением к лекционным курсам по данным дисциплинам.

Рецензенты:

профессор кафедры математики, физики и информатики ФГБОУ ВО Брянского ГАУ д.т.н., доцент Н.Е. Сакович.

Учебное пособие одобрено методической комиссией инженерно-технологического факультета. Протокол №7 от 17.04.2015 г.

© Христофоров Е.Н., 2015
© Брянский ГАУ, 2015

Содержание

Введение

1 Расчет времени противопожарной эвакуации людей из помещений, опасных с точки зрения пожара	7
1.1 Параметры движения	7
1.2 Огнестойкость зданий, сооружений и конструкций.....	8
1.3 Необходимое время эвакуации.....	14
1.3.1 Время эвакуации по лестницам.....	16
1.3.1.1 Концепция задачи.....	17
2 Оценка взрывоопасности элеваторов.....	18
2.1 Справка о категориях помещений	19
2.2 Выбор критерия зрывоопасности.....	20
2.2.1 Форма частиц	21
2.3 Пример расчета избыточного давления	25
2.4 Справочные данные для решения задач.....	27
3 Оценка степени токсичности дыма при пожаре.....	32
4 Оценка теплозащитных свойств ограждений – укрытий оборудования при воздействии пожара.....	38
4.1 расчет динамики опасных факторов в помещении	43
4.2 Расчет необходимого времени эвакуации по критической температуре.....	44
4.3 Расчет необходимого времени эвакуации по снижению кислорода.....	47
5 Оценка максимальной температуры пластового самонагрева сырья в силосе.....	49
6 Определение продолжительности и температурного режима пожара.....	54
7 Оценить теплозащитные свойства ограждений – укрытий оборудования при воздействии пожара (пример)	57
8 Определение категории помещений по пожарной и взрывопожарной опасности.....	59

8.1 Определить категорию помещений по пожарной и взрывопожарной опасности.....	61
9 Практическое занятие № 5. Определение категории помещений при различных агрегатных состояниях горючего вещества.....	63
10 Определение пожароопасной категории помещений В1-В4.....	67
11 Расчет времени противопожарной эвакуации людей из помещений, опасных в пожарном отношении.....	68
12 Расчет времени самонагревания растительного сырья.....	70
13 Оценка токсичности дыма при пожаре.....	73
Литература	
Приложения	

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время масштабы поражения от пожаров огромны. Горят леса, жилища, гибнут люди и скот. Очаги пожаров могут возникать везде, и причины возгорания различны. И что особенно существенно — форма воздействия пожаров разнообразна. Это поражение огнем, высокой температурой нагрева, воздействия газами и дымом, физические разрушения строений и транспортных средств и другие. Поэтому в учебном пособии проработаны подходы к количественному решению разнообразных задач, которые неразрывно связаны с пожарами.

Изучение дисциплины формируется следующими компетенциями:

– способностью принимать решения в пределах своих полномочий (ОК-9);

– способностью принимать участие в инженерных разработках среднего уровня сложности в составе коллектива (ПК-3);

способностью пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и природной среды в техносфере (ПК-11).

Практическое занятие №1

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ, ОПАСНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОЖАРА

Основой пожарной охраны людей является предупреждение их гибели при пожаре. Конструктивно-планировочные решения существенно влияют на создание комфортных противопожарных условий проживания и работы людей. В связи со строительством общественных, жилых и производственных зданий с массовым пребыванием людей проблема внутренней планировки зданий с учетом обеспечения безопасной эвакуации людей приобретает кардинальное значение в области противопожарной безопасности.

Что понимается под эвакуацией? Эвакуация (evacuatio) — это вывоз гражданского населения, предприятий, учреждений, художественных и иных ценностей, находящихся под угрозой неприятельского нападения или подвергшихся стихийному бедствию (наводнения, оползни и т.д.). К данной категории мероприятий относится эвакуация людей при пожаре. Применительно к таким условиям — это самостоятельное движение (выход) людей из горящего помещения (здания) в безопасное место.

Движение в пожароопасных условиях может быть:

- ▶ одиночным;
- ▶ массовым;
- ▶ беспорядочным (имеется в виду движение по разным направлениям);
- ▶ поточным;
- ▶ свободным (предполагает возможность изменения в любой момент как скорости движения, так и его направления);
- ▶ стесненным (существование каких-либо преград, ограничивающих движение потоком);
- ▶ кратковременным;
- ▶ длительным;
- ▶ нормальным (имеется в виду комфортность условия движения);
- ▶ вынужденным (аварийным).

Вид движения накладывает определенные требования на конструктивно планировочные решения. В основу успешной эвакуации людей при пожаре выбирается условие:

$$\tau_p < \tau_{\text{НБ}} \quad (1)$$

где τ_p – расчетное (фактическое) время эвакуации людей из помещения, здания, мин;

$\tau_{\text{НБ}}$ – необходимое (допустимое) время эвакуации людей из помещения, здания, мин.

1.1 Параметры движения

Движение людей потоком (движение в одном направлении) характеризуется плотностью людского потока – D (чел./м²):

Характер эвакуации накладывает определенные требования на конструктивно – планировочные решения. Движение в одном направлении зависит от плотности людского потока D , чел/м:

$$D = N_i / F_i \quad (2)$$

где: N_i – количество людей на i -м участке движения;

F_i – площадь i – го участка, м².

Анализ реальных данных показал, что при эвакуации взрослых людей плотность может достигать 10 – 2 чел./м .

Важной расчетной характеристикой является относительная плотность людского потока, представляющая собой отношение плотности людского потока к некоторой расчетной величине f – средней плотности горизонтальной проекции человека (таблица 1).

Таблица 1 – Удельная площадь f (в плане) на 1 человека

Характеристика движущегося человека	Величина f , м ² / чел.
Взрослый человек в домашней одежде	0,1
Взрослый человек в зимней одежде	0,125
Подросток	0,07
Взрослый с ребенком на руках и с сумкой	0,26
Взрослый с сумкой	0,16
Взрослый с чемоданом	0,36

Тогда

$$D_o = D \times F = \frac{fN_i}{F_i}, \text{ м}^2/\text{м}^2$$

$$F_i = l_i \times \delta_i \quad (3)$$

где: l_i – длина участка прохождения;

δ_i – ширина участка;

Скорость движения – V , м/мин, определяется как отношение l_i – длины пройденного участка пути ко времени прохождения этого участка пути τ_i

$$V_i = \frac{l_i}{\tau_i} \quad (4)$$

Зависимость скорости движения людского потока от плотности потока D представлена в таблице 2

Таблица 2 – Зависимость скорости движения людского потока от плотности

Плотность потока, D , м ² /м ²	Горизонтальный путь, м		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	V	q	q	V	q	V	q
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,5	22	И
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

q – интенсивность движения, м/мин, V – скорость, м/мин

Примечания.

Представленные значения интенсивности движения в дверных проемах при плотности потока 0,9 и более соответствует значению для дверного проема шириной 1,6 м. Если же ширина проема $\delta < 1,6$ м, то интенсивность рассчитывается по формуле $q = 2,5 + 3,75 \times \delta$.

Интенсивность движения на некотором i -м участке можно определить следующим образом:

$$q_i = \frac{(q_{i-1} \times \delta_{i-1})}{\delta_i} \quad (5)$$

где δ_i , δ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го участка прохождения и толщина предшествующего $i - 1$ участка пути, м;

q_i , q_{i-1} – значение интенсивности людского потока на i -м участке пути и на предшествующем, м/мин (определяются по таблице 2).

При определении интенсивности движения необходимо учитывать слияние потоков, то есть соединение интенсивностей на нескольких предшествующих участках пути, как это показано на рисунке 1.

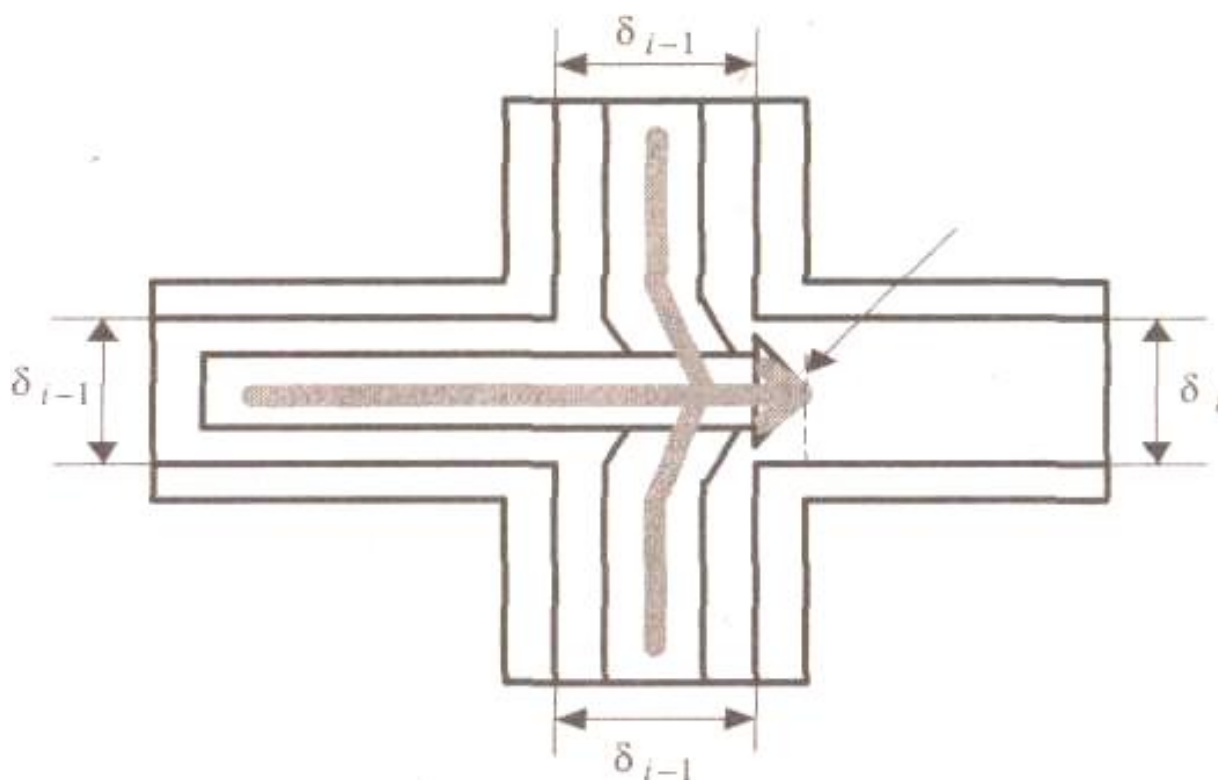


Рисунок 1 – Слияние людских потоков

Если расчетная величина интенсивности движения людских потоков превышает значение, заданное в таблице 2, то ширину прохода следует увеличить. И тогда время движения по рассматриваемому участку определяется по формуле:

$$\tau_i = \frac{J_i}{V_i} \quad (6)$$

Если число людей, приходящихся на один выход, не превышает 50, а расстояние от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода – 25 м, то такие участки считаются проходимыми (не критичными), и в этом случае время не рассчитывается. В таблице 3 представлены данные относительно времени, необходимого для эвакуации людей из общественных зданий.

Таблица 3 – Время, необходимое для эвакуации людей $t_{нб}$ из зальных помещений общественных зданий I и II степеней огнестойкости

Наименование помещения	Необходимое время эвакуации при заданном объеме помещения (в тыс. м ³), мин				
	До 5	10	20	40	60
Зрительные залы в театрах, клубах, домах культуры и другие залы с колосниковой сценой	1,5	2	2,5	2,5	-
Зрительные, концертные, лекционные залы и залы собраний, выставок и другие залы без колосниковой сцены, а так же кинотеатры, крытые спортивные сооружения, цирки, столовые и др.	2	3	3,5	4	4,5
Торговые залы	1,5	2	2,5	2,5	-

Примечания.

1. Необходимое время эвакуации с балконов и трибун, размещенных на высоте выше половины высоты зала, необходимо уменьшить вдвое.

2. Для помещений III и IV степеней огнестойкости значения необходимого времени эвакуации, указанные в таблице 3, сокращаются на 30%, а для помещений V степени огнестойкости – на 50%.

1.2 Огнестойкость зданий, сооружений и конструкций

Здания и сооружения по огнестойкости подразделяются на пять степеней. Такая важная характеристика, как степень огнестойкости, определяется

пределами огнестойкости основных строительных конструкций в пределах распространения по ним огня (таблица 4 – 9)

Таблица 4 – Минимальные пределы огнестойкости основных строительных конструкций в часах в зависимости от степени огнестойкости зданий и сооружений

Степень огнестойкости зданий и сооружений	Основные строительные конструкции					
	Несущие стены, стены лестничных клеток, колонны	Лестничные площадки, ступени, балки и марши в лестничных клетках	Наружные стены из навесных панелей	Внутренние несущие стены, перегородки	Плиты, настилы и другие несущие конструкции межэтажных и чердачных помещений	Плиты, настилы и другие несущие конструкции покрытий
I	2,5	1	0,5	0,5	1	0,5
II	2	1	0,25	0,25	0,75	0,25
III	2	1	0,25	0,25	0,75	Не нормируется
IV	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	То же
V	Не нормируется					

Примечания.

1. Пределы огнестойкости перекрытий и покрытий, имеющих подвесные потолки, должны устанавливаться как для единой конструкции.

2. Для зданий II и III степеней огнестойкости, возводимых труднодоступных пунктах строительства, допускается устройство ограждений алюминиевых и стальных листов с утеплителем из пенопластов пламягасящими добавками.

3. Пределы самонесущих стен принимаются:

▶ для стен, учитываемых при расчете жесткости и устойчивости здания, графе «несущие стены»;

▶ для стен, не учитываемых при расчете жесткости и устойчивости здания, графе «несущие стены» с коэффициентом 0,5.

Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются по стандарту СЭВ 1000 – 78 «Противопожарные нормы строительного проектирования. Метод испытания строительных конструкций на огнестойкость».

Таблица 5 – Пределы распространения огня по строительным конструкциям, см

Степень огнестойкости зданий и сооружений	Основные строительные конструкции					
	Несущие стены, лестничных клеток, колонны	Лестничные площадки, ступени, балки и марши в лестничных клетках	Наружные стены из навесных панелей	Внутренние несущие стены, перегородки	Плиты, настилы и другие несущие конструкции межэтажных и чердачных помещений	Плиты, настилы и другие несущие конструкции покрытий
I	Не допускается					
II	Не допускается			40	Не допускается	Не допускается
III	То же			40	25	Не нормируется
IV	40	25	40	40	25	То же
V	Не нормируется					

Примечания.

1. Для зданий III степени огнестойкости допускается применение панелей с максимальным пределом распространения огня 40 см при условии, что их предел огнестойкости составляет не менее 0,5 ч.

2. Пределы распространения огня по самонесущим стенам принимаются по графе «несущие стены».

Строительные материалы по возгоранию подразделяются на три группы: **несгораемые, трудносгораемые и сгораемые.**

Таблица 6 – Пределы огнестойкости основных деревянных конструкций для одноэтажных производственных, складских, сельскохозяйственных и общественных зданий и сооружений II степени огнестойкости, ч

Степень огнестойкости зданий и сооружений	Основные деревянные конструкции				
	Колонны	Наружные стены из навесных панелей	Перекрытия		Внутренние несущие стены (перегородки)
			Плиты, настилы, прогоны	Балки, фермы, арки, рамы	
II	2	0.5	0.5	0.75	0.25

Примечания:

1. Деревянные клееные балки, фермы, арки и колонны зданий и сооружений следует применять без огнезащитной обработки, кроме зданий общественных, производственных и складских с производствами категории В.

2. Деревянные плиты, настилы и прогоны покрытий зданий должны подвергаться глубокой пропитке антипиренами.

3. Основные деревянные конструкции для производственных и складских зданий с производствами категорий А и Б не применять.

Таблица 7 – Минимальные пределы огнестойкости для противопожарных преград, устанавливаемых в зданиях всех степеней огнестойкости, ч

Противопожарный объект	Степень огнестойкости
Противопожарные стены	2,5
Двери, окна и ворота в противопожарных стенах	1,2
Противопожарные перегородки	0,75
Для противопожарных дверей и окон в противопожарных перегородках и для противопожарных дверей тамбур-шлюзов в помещениях с производствами категории А,Б и В, для дверей входов на чердак и противопожарных люков	0,6
Для противопожарных перекрытий в зданиях I степени огнестойкости	1
Для противопожарных перекрытий (междуэтажных, чердачных и над подвальными и цокольными этажами) в зданиях II и III степеней огнестойкости и в зданиях IV степени огнестойкости (над подвальными и цокольными этажами), для перекрытий тамбур-шлюзов	0,75

1.3. Необходимое время эвакуации

Необходимое время эвакуации из зданий театров, клубов, дворцов культуры и других зданий с колосниковой сценой, а также из зданий кинотеатров, киноконцертных зданий, цирков, универмагов и столовых принимается:

▶ для зданий I и II степеней огнестойкости – 6 мин;

▶ для зданий III и IV степеней огнестойкости – 4 мин;

▶ для зданий V степени огнестойкости – 3 мин.

▶ Для зрительных залов без колосниковой сцены, объем которых (W) превышает 60 тыс. м³, необходимое время эвакуации людей $t_{НБ}$ следует определять по формуле:

$$t_{НБ} = 0,115 \times W^{1/3} \quad (7)$$

Таблица 8 – Степень огнестойкости для противопожарных преград, устанавливаемых в зданиях всех степеней огнестойкости, ч

Противопожарный объект	Степень огнестойкости
Противопожарные стены	2,5
Двери, окна и ворота в противопожарных стенах	1,2
Противопожарные перегородки	0,75
Для дверей входов на чердак и противопожарных люков	0,6
Для противопожарных перекрытий в зданиях I степени огнестойкости	1
Для противопожарных перекрытий в зданиях II, III, IV и V степеней огнестойкости	–

Необходимое время эвакуации из таких залов не должно превышать 6 мин, а число выходящих из зала не должно превышать 600 человек на один выход.

Необходимое время эвакуации людей из амфитеатров, ярусов или балконов снижается в зависимости от высоты зала:

▶ при размещении эвакуационных выходов по середине высоты – на 35%;

▶ на отметке 0,8 высоты зала – на 65%.

Максимальная высота размещения эвакуационных выходов в зале не должна превышать 22 м. При этом время эвакуации людей из здания не должно быть дольше 10 мин.

Для зданий IV степени огнестойкости необходимое время эвакуации снижается на 30%, а для зданий V степени – на 50%.

В общественных зданиях и вспомогательных зданиях промышленных предприятий I, II и III степеней огнестойкости необходимое время эвакуации людей по лестницам:

▶ для зданий высотой до пяти этажей – 5 мин;

▶ для зданий от пяти до девяти этажей – 10 мин.

Таблица 9 – Необходимое время эвакуации из помещения (его высота принята равной 6 м)

Категория производства	Необходимое время эвакуации (при объеме помещения в тыс. м ²), мин				
	До 15	30	40	50	60 и более
А, Б, Е	0,50	0,75	1	1,50	1,75
В	1,25	2	2	2,50	3
ГД	Не ограничивается				

Примечания.

1. Значения, указанные в таблице 9, относятся к случаю, когда открытая площадь разлива горючесмазочных материалов не превышает 50 м². При повышенных размерах площади время снижается на множитель $F/50$, где F – фактическая площадь разлива жидкости.

2. Для галерей, площадок, расположенных выше отметки половины высоты помещения время уменьшается вдвое.

3. Если высота помещения превышает 6 м, то необходимое время эвакуации повышается:

- ▶ при высоте до 12 м – на 20%;
- ▶ при высоте до 18 м – на 30%;
- ▶ при высоте 24 м и более – на 40%.

В производственных помещениях I, II и III степеней огнестойкости с коридорами, предназначенными для эвакуации людей от наиболее удаленных дверей до выхода наружу или до ближайшей лестницы, время эвакуации принимается:

- 1 мин – для зданий категории А, Б и Е;
- 2 мин – для зданий категории В;
- 3 мин – для зданий категории Г и Д;
- 0,5 мин – для помещений с выходом в тупиковый коридор.

1.3.1 Время эвакуации по лестницам

- ▶ для зданий высотой до пяти этажей – 5 мин;
- ▶ для зданий производственных категорий В, Г и Д и высотой свыше пяти до девяти этажей – 10 мин.

Следует также учесть, что для зданий с огнестойкостью IV и V степеней время уменьшается соответственно на 30 и 50%.

1.3.1.1 Концепция задачи

Задача решается комплексно: расчет времени эвакуации выполняется в корреляции с оценкой достаточности (или оптимальности) размещения оборудования.

Рекомендуется следующая методика расчета.

На плане помещений каждого этажа намечаются маршруты движения людских потоков. На каждом участке определяется плотность потока. Учитываются узлы слияния потоков. Рассчитывается время оставления помещений и движения по лестницам до нижнего этажа.

На следующем, более низком этаже выполняются аналогичные вычисления. Время движения по лестницам рассчитывается по интегральному потоку, состоящему из потока движения людей из помещений данного этажа и

потока всех верхних этажей.

По завершении расчета для одного этажа рассчитывается время удаления людского потока на безопасное расстояние.

Расчетное время на каждом этаже сопоставляется с необходимым временем эвакуации. Если расчетное время превышает необходимое время, то расчеты повторяются с корректировкой значений характеристик процесса эвакуации.

Пример решения задачи «Определение времени эвакуации из помещения предприятия сотрудников и материальных ценностей при возникновении пожарной ситуации»

Исходные данные по объекту, подвергшемуся пожару (таблица 10):

- ▶ степень огнестойкости здания I;
- ▶ категория производства А;
- ▶ этажность производственного помещения 2.

Таблица 10 – Исходные и справочные данные

Показатели	Значения показателей	
	По первому этажу	По второму этажу
Число помещений	3	1
Площадь, в 1000 м ²	1,44	1,05
Объем, в 1000 м ³	16,4	21

Продолжение таблицы 10

Число оборудования, шт	130	40
Средняя ширина прохода, м	0,74	0,81
Длина коридора, м	12,0	16,0
Ширина коридора, м	6	6
Ширина выходных дверей, м	2,0	2,0
Количество дверей	3	1
Количество лестниц	2	2
Общая ширина лестниц, м	7	7
Время эвакуации, мин		
Из цехов:		
расчетное	1,8	0,5
нормативное	0,9	0,6
Из коридора:		
расчетное	3,8	0,7
нормативное	1,0	1,0
По лестницам:		
расчетное	0,9	0,2
нормативное	1,0	1,0
Отхода от здания	2,4	0,0

Практическое занятие №2

ОЦЕНКА ВЗРЫВООПАСНОСТИ ЭЛЕВАТОРОВ

Современная технология хранения, переработки зерна и производства комбикормов приводит к образованию на элеваторах, мукомольных и комбикормовых заводах большого количества мелкодисперсных горючих органических материалов. В помещениях могут образовываться взрывоопасные пылевоздушные смеси. Что же понимается под термином «пыль»?

Пыль – это совокупность мельчайших твердых частиц, способных находиться в воздухе во взвешенном состоянии.

К пылям относят мелкодисперсные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.

При распространении в воздухе пылевых частиц образуется пылевоздушная смесь, называемая *аэровзвесью*, или аэрозолем. При оседании взвешенных в воздухе пылевых частиц на поверхности оборудования образуется слой пыли – *аэрогель*.

Способность пыли к воспламенению зависит от группы горючести веществ, составляющих содержимое пыли. Особенно опасны вещества, имеющие низкую температуру теплового разложения и воспламенения. Таким образом повышенная запыленность может приводить к пожарам.

Для обеспечения взрывопожаробезопасности элеваторов следует проводить постоянные наблюдения за состоянием среды внутри помещения, выполнять оценки возможности возникновения пожара.

2.1 Справка о категориях производственных помещений

При проектировании и строительстве производственных зданий определяющим является установление категории здания по показателям взрывопожаробезопасности. Методика «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности», устанавливает в соответствии с ОНШ 24—86 пять категорий: А, Б, В, Г и Д (таблица 11).

Таблица 11 – Параметры, характеризующие категорию здания

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
1	2
А – взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом окружающего воздуха или при взаимодействии друг с другом в таком количестве, что расчетное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б – взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легко воспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28° С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В – пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом окружающего воздуха или друг с другом гореть, при условии, что помещение в котором они имеются в наличии или обращаются, не относится к категории А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигают или утилизируют в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

2.2 Выбор критерия взрывоопасности

При расчете значений критерия взрывоопасноеTM для смесей веществ и материалов выбирается наиболее неблагоприятный вариант аварии, при

котором во взрыве участвует наибольшее количество производственной пыли или мелкодисперсных продуктов, наиболее опасных в отношении последствий взрыва.

Концентрация пыли, газов и паров внутри производственного аппарата, помещения или здания создают избыточное давление, которое нередко приводит к аварийным ситуациям. Именно возникновение избыточного давления служит причиной развития взрывоопасных ситуаций и приводит к взрывам.

При расчете свободный объем помещения определяют как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если это трудно оценить, то приближенно для расчетов можно принять его равным 80% геометрического объема помещения.

Избыточное давление ΔP в кПа рассчитывается по формуле

$$\Delta P = \frac{m H_T P_0 Z}{V_{CB} \rho_B C_P T_0} \times \frac{1}{K_H}, \quad (8)$$

где m – масса горючей пыли, кг;

H_T – теплота сгорания, Дж/кг;

P_0 – начальное давление, кПа (допускается при расчетах принимать его равным 101);

ρ_B – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 , кг/м³ ;

C_P – теплоемкость воздуха, Дж/(кг°К) (допускается в расчетах принимать равным $1,01 \times 10^3$);

T_0 – начальная температура воздуха, °К;

V_{CB} – свободный объем помещения, м³ ;

K_H – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (допускается в расчетах принимать равным 3);

Z – коэффициент, учитывающий долю участия взвешенной пыли во взрыве (в отсутствие данных допускается в расчетах принимать равным 0,5).

Масса горючей пыли, т.е. расчетная масса пыли (m) в объеме помещения,

определяется в виде суммы:

$$m = m_{B3} + m_{P3} + m_{AB}, \quad (9)$$

где m_{B3} – расчетная масса взвихрившейся части отложенной пыли, кг;

m_{P3} – расчетная масса взвихрившейся части завалов и россыпей, мелкодисперсных продуктов взрыва, кг;

m_{AB} – расчетная масса части мелкодисперсных продуктов и пыли, поступивших в помещение в результате аварийной ситуации и взвихрившихся в объеме помещения, кг.

Расчетную массу взвихрившейся части отложенной пыли твз определяют по формуле

$$m_{B3} = K_{B3} m_{П} \quad (10)$$

где K_{B3} – доля отложенной в помещении пыли, способная при аварийной ситуации перейти во взвешенное состояние (в расчетах при отсутствии экспериментальных данных может быть принята равной 0,9);

$m_{П}$ – масса отложившейся к моменту аварии пыли, кг.

Расчетную массу взвихрившейся части завалов и россыпей, мелкодисперсных продуктов взрыва трз, определяют по формуле

$$m_{P3} = K_{P3} m_{НР} \quad (11)$$

где K_{P3} – доля россыпей и завалов, способных перейти во взвешенное состояние (при оценках может принято значение $K_T = 0$);

$m_{НР}$ – общая масса завалов, россыпей мелкодисперсных продуктов в помещении.

Расчетную массу части мелкодисперсных продуктов и пыли, поступивших в помещение в результате аварийной ситуации и взвихрившейся в объеме помещения тав, определяют по формуле

$$T_{AB} = (m_{АП} + qT) K_{П} \quad (12)$$

где $m_{АП}$ – масса мелкодисперсного продукта и пыли, выбрасываемых из аппарата,

q – скорость поступления пылевидных веществ в аварийный аппарат, кг/с;

T – время отключения или продолжительность поступления пылевидных материалов в аварийный технологический аппарат, с;

$K_{П}$ – коэффициент пыления, выражающий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей пыли, выброшенной в помещение.

Примечания.

При отсутствии экспериментальных данных можно использовать значения параметра $K_{П} = 0,5$ для пыли с дисперсностью не менее 350 мкм и $K_{П} = 1,0$ для дисперсности менее 350 мкм. Величина $m_{АП}$ принимается равной максимальному количеству пыли или мелкодисперсного продукта, находящемуся в технологическом аппарате.

Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяется по формуле

$$m = \frac{K_{Г}}{K_{У}} (m_1 + m_2), \quad (13)$$

где $K_{Г}$ – доля горючей пыли в общей массе отложенной пыли;

$K_{У}$ – коэффициент эффективности уборки пыли (таблица 12);

m_1 – масса пыли, оседающая в труднодоступных местах в помещениях между генеральными уборками, кг;

m_2 – масса пыли, оседающая на доступных местах для уборки за период между текущими уборками, кг.

Таблица 12 – Значение коэффициента эффективности уборки помещения

Вид уборки	Значение $K_{У}$
Ручная сухая уборка помещений	0,6
Влажная уборка помещений	0,7
Механизированная уборка ровных полов	0,9
Механизированная уборка полов с выбоинами	0,7

Примечания.

К труднодоступным для уборки местам относят площадки и поверхности в производственных помещениях, которые очищаются только при генеральных уборках. Доступными местами считаются такие, которые подвергаются уборке в текущих пылеуборках (ежесменно, ежесуточно и т.д.)

Массы пыли m_i ($i = 1, 2$), оседающие на различных поверхностях за межуборочный период, определяются следующим образом:

$$m_i = M_i(1 - \alpha)\beta_i \quad \text{при } (i = 1, 2), \quad (14)$$

где $M_i = \sum M_{ij}$ – масса пыли, выделенной в объем помещения за период между уборками ($i = 1$ – генеральными, $i = 2$ – текущими) единицей технологического оборудования, кг;

α – доля количества пыли, удаляемая вытяжными системами (если таковых нет, или неизвестна доля их наличия, то значение α принимается равным 0);

β_i – доли пыли, выделяемой на труднодоступных ($i = 1$) и доступных ($i = 2$) для уборки местах ($\beta_1 + \beta_2 = 1$); при отсутствии сведений при прогнозных оценках допускается принимать значения $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$; значения выделяемых масс пыли могут быть определены экспериментально.

В периоды максимальной загрузки технологического оборудования количества пыли M_1 и M_2 определяются по формуле

$$M_i = \sum_j (G_{ij} \cdot F_{ij}) \tau_i \quad \text{при } (i = 1, 2), \quad (15)$$

где $G_{1j}, G_{2j}, F_{1j}, F_{2j}$ – интенсивности пылеотложений, на труднодоступных и доступных площадях, и соответственно значения указанных площадей, кг/м² с;

τ_1 и τ_2 – время, соответственно между генеральными и текущими уборками, с.

2.2.1 Форма частиц

Форма пылинок может быть сферической, кубической, цилиндрической, пластинчатой, конусной, игольчатой, чешуйчатой и другие.

Для расчетов характерный размер частицы условно понимается как диаметр сферы с объемом, равным объему частицы. Средний объемный диаметр $d_{об}$ определяется по формуле

$$d_{об} = \sqrt{\frac{6G}{n\rho_{ср}\pi}}$$

где G – масса произвольной порции (навески) пыли;

n – число частиц в этой порции;

$\rho_{ср}$ – средняя плотность частиц.

Удельная плотность зерновых и мучных пылей изменяется в диапазоне от 1,6 до 1,8 г/см³.

Экспериментальные исследования динамики развития пылевых взрывов в замкнутых объемах в диапазоне от 1 до 1000 м показали, что скорость нарастания взрывного давления при увеличении объема уменьшается по кубическому закону:

$$\frac{dP}{d\tau} \times V_{\max} = \left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{V_{\min}} \left(\frac{V_{\min}}{V_{\max}} \right)^{0,5} \quad (17)$$

где $\left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{V_{\max}}$ — скорость нарастания давления взрыва в большом объеме V_{\max}

$\left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{V_{\min}} \sim$ скорость нарастания давления взрыва в малом объеме V_{\min} .

2.3 Пример расчета избыточного давления

Подсчитав избыточное давление взрыва, можно определить, к какой категории относится рассматриваемое в расчетах помещение. Исходные данные параметров для расчета:

$H_T = 17,5 \cdot 10$ Дж/кг; $\rho_B = 1,20$ кг/м; $C_p = 1,0 \times 10$ Дж/кгК; $T_0 = 293$ К; $P_{II} = 101$ кПа; $Z = 0,5$; $K_H = 3$.

При подстановке этих значений в формулу (4.8) получаем:

$$\Delta P = \frac{17,5 \times 10^6 \times 101 \times 0,5}{1,2 \times 1,01 \times 10^3 \times 293 \times 3} \times \frac{m}{V_{CB}} = 830 \times \frac{m}{V_{CB}} \quad (18)$$

Пусть

$$V_{CB} = 0,87V = 0,8F_{II} H, \quad (19)$$

где F_{II} – площадь пола, м;

H – высота помещения, м. При $m_{P3} = 0$ и $m_{AB} = 0$,

$$m = K_{B3} m + 0,9 m_{II}$$

где $m_{II} = (m_1 + m_2) K_{II}$, K_{II} согласно формуле (13).

Принимая $K_1 = 1$ и $K_2 = 0,7$ (для ручной влажной уборки),

получаем

$$m = 0,9(m_1 + m_2)/0,7 = 1,29(m_1 + m_2) \quad (21)$$

Значения m_1 и m_2 (кг) определяется по формулам (14) и (15) в соответствии с методикой классификации пылевого режима производственных помещений элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов по взрывоопасности:

$$m_1 = G_{ПОТ} F_{ПОТ} + G_{СТ} F_{СТ} + G_{ТР.ДОСТ} F_{ТР.ДОСТ} \times \tau_1 \times 10^{-3} \quad (22)$$

$$m_2 = G F_{\Pi} (2 - K_{УБ}) \times \tau_2 \times 10^{-3} \quad (23)$$

где $G_{ПОТ}$, $G_{СТ}$, $G_{ТР.ДОСТ}$ - интенсивность пылеотложения на потолке стенках помещения в труднодоступных местах, г/м ч;

$F_{ПОТ}$, $F_{СТ}$, $F_{ТР.ДОСТ}$ - площадь потолка, стен и других труднодоступных мест, м ;

G - интенсивность пылеотложения на полу, (г/м ч);

F_{Π} - площадь пола, м²;

τ_1 - период между генеральными уборками, равный 10×24 ч;

τ_2 - период между текущими уборками, равный 8 ч;

$K_{УБ} = 0,9$ - эффективность уборки пыли пола.

Если (22) и (23) подставить в формулу (19), и принять $F_{ПОТ} = F_{\Pi}$, то

$$m = 1,29GF_{\Pi} \times 240 \left(\frac{G_{ПОТ}}{G} + \frac{G_{СТ} F_{СТ}}{GF_{\Pi}} + \frac{G_{ТР.ДОСТ} F_{ТР.ДОСТ}}{GF_{\Pi}} \right) + 8,8 \times 10^{-3} \quad (24)$$

Полагая далее $G_{ПОТ} = 0,1G$; $G_{СТ} = 0,15G$; $G_{ТР.ДОСТ} = 0,5G$; $F_{СТ} = 2F_{\Pi}$; $F_{ТР.ДОСТ} = 0,25F_{\Pi}$, определяем массу m :

$$m = 1,29 \times 10^{-3} [240(0,1 + 0,15 \times 2 + 0,5 \times 0,25) + 8,8] GF_{\Pi} = 175 \times GF_{\Pi} \quad (4.25)$$

Подставляя (24) в (18) с учетом формулы (19), получаем превышение давления в кПа:

$$\Delta P = 830 \frac{0,175GF_{\Pi}}{0,8HF_{\Pi}} = 180 \frac{G}{H} \quad (26)$$

В среднем можно принять $H = 4$ м. Тогда

$$\Delta P = 45G \quad (27)$$

Таким образом, зная интенсивность пылевыделения G в помещениях предприятия по результатам обследования пылевого режима при его функционировании, можно рассчитать давление взрыва в случае воспламенения пылевоздушной смеси и определить категорию рабочего

помещения.

Очень важным вопросом является классификация пылевого режима производственных помещений. В качестве критерия выбирается такой показатель, как критическое значение пылевыделения $G_{кр}$

При условии, что предельное значение давления взрыва 5 кПа, период между генеральными уборками 10 сут, а между текущими — 8 ч предварительная оценка критического пылевого режима вычисляется по формуле:

$$G_{кр} = 0,0275H. \quad (28)$$

Классификация пылевого режима на основе измеренного G и критического $G_{кр}$ приводит к таким результатам:

Если $G / G_{кр} < 1,0$, то помещение относят к классу взрывобезопасного, а если $G / G_{кр} > 1,0$, то помещение относят к классу взрывоопасного.

2.4. Справочные данные для решения задач

Таблица 13 – Дисперсный состав продуктов переработки зерна

Продукт	Проход через сито с отверстиями		Остаток на сите с отверстиями	
	мкм	%	мкм	%
1	2	3	4	5
Мука пшеничная хлебопекарная				
Крупчатка	180	10	315	2
Высший сорт	-	-	140	5
Первый сорт	140	57	180	2
Второй сорт	160	60	250	2
Обойная	160	30	670	2
Мука ржаная хлебопекарная				
Сеяная	160	90	250	2
Обдирная	160	60	450	2
Обойная	160	30	670	2
Крупа манная разных марок				
Марки М	360	8	-	-
	160	2	2	-
Марки МТ	360	5	-	-
	160	1	-	-
Марки Т	360	5	-	-
	160	1	-	-
Пшеничная слоеная	1000	25	2500	2

Таблица 14 – Скорость витания и унос мелкодисперсного комбикормового сырья

Наименование продукта	Средний размер час тиц, мкм	Насыпная плотность, г/см ³	Насыпная скорость витаниям /с	Унос продукта (при скорости воздуха в м/с) %					
				0,5	1,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Отруби:									
пшеничные	900	0,35	2,1	2	12	95	100	-	-
ржаные	600	0,40	1,7	5	40	100	-	-	-
Мучка:									
ячменная	600	0,44	1,8	21	39	88	100	-	-
гречневая	1000	0,445	2,5	17	34	76	86	94	100
гороховая	560	0,57	1,2	48	66	97	100	-	-
Пшеница измельченная	1100	0,65	3,4	8	36	50	72	90	100
Ячмень измельченный	1100	0,50	3,7	6	32	47	66	90	100
Горох измельченный	900	0,72	3,5	10	17	77	72	89	100
Овес измельченный	1160	0,38	2,6	17	29	82	90	96	100
Дрожжи:									
кормовые	560	0,60	1,3	39	67	100	-	-	-
гидролизные	200	0,61	0,9	58	82	100	-	-	-
Молоко сухое	140	0,58	1,2	28	70	100	-	-	-

Таблица 15 – Показатель пожароопасности (по данным ВНИИПО МВД)

Наименование продукта	Нижний конц.пред. распр. плам., г/м ³	Давление взрыва, Р _{МАХ} , кПа	Макс. Скорость нарастания, давления V _{МАХ} , МПа/с	Максимальное содержание кисл.О ₂ , max,%	Макс. энерг. зажиг. МДж	Теплота сгорания Q, кДж/ кг
Ячмень (др)	47	645	11,4	12,3	-	17372
Кукуруза др.	37	652	6,9	11,5	-	17543
Отруби пшен.	55	483	6,2	11,8	-	17677
Дрожжи корм.	36	650	9,2	11,0	8,3	19087
Пшеница др.	38	524	14,2	12,8	-	17322
Горох др.	52	620	19,3	11,5	-	18292
Овес др.	54	650	4,67	12,0	-	19206
Просо др.	36	-	-	-	-	18972
Шпрот подсолнечный	40	532	9,4	11,3	8,9	18368
хлопковый	42	547	4,07	12,5		21786
соевый	49	673	12,5	16,0		18485
Мука ржаная, обдирная	78	540	11,0	11,5	13,3	
Мука пш. в/с	28,8	650	13,0	11,0	50,0	-
Сорго дробл.	36	575	8,0	19,5	17,2	-
Крахмал зерн.	40	770	-	10,0	30,0	-
Соя	35	700	17,2	15,0	40,0	-
Аэровзвеси зерн. и корм.	40	1200	8,0		3,0	

Таблица 16 – Температура воспламенения пыли в различном ее состоянии

Разновидность пыли	Температура воспламенения, °С	
	Аэрозоль	Аэрогель
Зерновая: ржаная пшеничная	430 – 500	305
	420 – 425	290
Мучная: ржаная пшеничная	410 – 470	205 – 325
	410 – 430	205 – 320
Ржаная мука (осевшая)	415 – 470	305
Пшеничная мука (то же)	410 – 470	290
Кукурузный крахмал (то же)	410 – 450	-

Таблица 17 – Вероятность возникновения баротравм в зависимости от избыточного давления

Избыточное давление, кПа	Вероятность баротравм. %
400	100
120	75
65	50
35	25
13	15
10	0

Таблица 18 – Физико – химические характеристики газов и показатели пожаровзрывоопасности их смесей с воздухом

Характеристики	Водород, H ₂	Метан, CH ₄	Окись угле- рода, CO
Молекулярный вес	2,016	16,04	28,01
Плотность, кг / м ³	0,0899	0,7166	1,250
Относительная плотность воздуха	0,0695	0,5543	0,967
Теплота сгорания, кДж / кг	120036	40865	10132
Температура самовоспламенения, °С	510	537	610
КПРП, % объема	4,0 – 75,0	5,0 – 15,0	12,5 – 74,0
Мах энергия зажигания, МДж	0,017	0,28	8,0
Температура горения в воздухе, °С	2072	1910	2000
Максимальное давление взрыва, кПа	739	720	730
Макс. скорость нарастания P, МПа / с	75,79	18,1	13,75
Макс, нормальная скор, горения, м/с	2,67	0,338	0,45
Мин. флегматизирующая конц, % объема CO ₂	62	26	53
N ₂	76	39	69
Мин. взрывоопасное содержание O ₂ , % объема в среде: CO,	7,9	15,6	9,8
N ₂	5,0	12,8	6,5

Таблица 19 – Срок непрерывного хранения сырья в бункерах и силосах

Наименование сырья	Срок хранения, сут.
Отруби и мучки	12 – 15
Жмыхи и шроты	8 – 11
Шрот подсолнечный	17 – 20
Мука мясокостная, мясная, кровяная, рыбная, дрожжи кормовые	8 – 10

Таблица 20– Влажность, закладываемая на хранение шротов и жмыхов

Наименование сырья	Влажность, %
Шроты	
Кукурузный, льняной	6,0 – 9,0
Конопляный	7,5 – 9,0
Подсолнечника	7,0 – 9,5
Подсолнечника с липидами	7,0 – 9,5
Соевый	8,5 – 10
Хлопковый	9,0
Хлопковый с липидами	9,0 – 10
Клещевинный кормовой	7,5 – 9,0
Жмыхи	
Подсолнечный	6,0 – 8,0
Хлопковый	8,5 – 9,0
Кунжутный, сафлоровый	6,0 – 10
Сурепный, рапсовый	6,0 – 9,0
Конопляный, арахисовый	6,0 – 8,0

Таблица 21 – Удельная теплота сгорания

Наименование продукта	Влажность, %	Скорость, %	Дисперсность, мкм	Q _н , кДж / кг
Ячмень дробленый	13,6	2,9	0 – 100	17,372
Кукуруза дробленая	15,2	5	0 – 100	17,543
Отруби пшеничные	12,8	2,9	0 – 100	17,677
Дрожжи кормовые	9,7	-	0 – 100	19,087
Пшеница дробленая	14	1,2	0 – 100	17,322
Горох дробленый	10,5	-	0 – 100	18,292
Шрот соевый	1,54	-	-	18,485
Шрот подсолнечный	9,8	-	-	18,368
Шрот хлопковый	-	-	-	17,594
Шрот соевый	-	-	-	18,889

Таблица 22 – Элементарный химический состав комбикормового сырья

Наименование продукта	Элементарный состав, %				
	С	Н	Н	S	О
Ячмень дробленый	43,47	6,00	3,10	1,42	46,01
Кукуруза дробленая	43,50	5,40	2,60	1,35	47,15
Отруби пшеничные	43,60	7,00	3,43	1,25	44,72
Дрожжи кормовые	37,57	6,20	7,87	^ 5,77	44,58
Пшеница дробленая	46,98	6,95	3,66	1,30	41,11
Шрот соевый	42,96	6,57	6,95	1,20	42,32
Шрот подсолнечный	41,72	6,42	6,13	1,25	44,44
Шрот хлопковый	44,95	6,50	5,44	1,36	40,60
Шрот соевый	44,61	6,80	6,62	1,97	

Практическое занятие №3

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТОКСИЧНОСТИ ДЫМА ПРИ ПОЖАРЕ

К проблеме борьбы с пожарами в современных условиях приковано повышенное внимание. Это бедствие ежегодно распространяется на многие территории земного шара. Россия, обладающая огромными запасами леса, существенно страдает от пожаров. Многие тысячи людей лишаются крова и даже жизнью.

Выживаемость человека при возникновении пожара определяется сочетанием многих опасных факторов: открытый огонь и искры, повышение температуры окружающей среды, дым, пониженная концентрация кислорода, падение частей строительных конструкций и других опасных воздействий взрыва.

Опыт показывает, что в условиях пожара в здании человек в первую очередь подвергается воздействию повышенной температуры окружающей среды и токсичности выделяемых при пожаре

примесей. Причем важное значение имеют не только состав вредных примесей в дыме, но и время, в течение которого человек подвергается воздействию дыма.

К наиболее опасным веществам в продуктах горения относятся:

хлористый водород, цианистый водород, акролеин, формальдегид и еще около 400 веществ.

Большую опасность представляют суперинтоксиканты (бициклические фосфатэфиры типа 4-этил-1-фосфа-2,6,7-триокса-бицикло-(2,2,2)октан-1-оксид), возникающие при термическом разложении широко распространенных пенопластов.

Проведенные в США исследования установили, что токсичность дыма при пожаре может быть оценена с достаточной степенью точности и достоверности по характеристикам и свойствам наиболее представительных составляющих дыма: оксида углерода, диоксида углерода, цианида и хлорида водорода, кислорода (эффект понижения его концентрации). Сокращение рассматриваемых компонентов дыма упрощает процедуры испытания и оценок. Эту концепцию принято называть моделью N-Gas.

Исследованиями Британского института стандартов рекомендовано различать шесть типов пожаров:

1) самоподдерживающееся разложение вещества с тлением (беспламенным горением, например, попадание непотушенной сигареты на постельные принадлежности или обивку мягкой мебели);

2) беспламенное окислительное разложение вещества;

3) беспламенное пиролитическое разложение вещества;

4) развивающийся пожар с пламенным горением (до возникновения объемной вспышки);

5) полностью развившийся пожар в условиях хорошего воздухообмена (стадия после общей вспышки при регулировании теплового режима пожара количеством и свойствами материалов пожарной нагрузки);

6) полностью развившийся пожар при ограниченном воздухообмене (стадия после общей вспышки при регулировании теплового режима условиями воздухообмена).

Пожары первого типа по данным специалистов США, наблюдаются в 27% случаев. Их профилактика обеспечивается противопожарной пропагандой. Пожары типов 2 и 3 чаще всего возникают при перегреве горючих материалов,

расположенных вблизи нагревательных устройств. В силу большого разнообразия условий возникновения пожаров этих типов весьма затруднена работа по сбору статистики данных по ним, поэтому дать рекомендации по оценке их токсической опасности весьма проблематично.

Статистические данные США показывают, что 69% жертв связано с пожарами типов 4, 5 и 6. Все эти пожары характеризуются высокой температурой (свыше 600°C), интенсивным пламенем горения и теплового воздействия на человека (плотность теплового потока 20 – 150 кВт/м). Такие пожары сопровождаются высокой концентрацией токсичного дыма, когда люди гибнут чаще всего в помещении очага пожара. Причиной этого является ингаляция токсичных газов, образующихся при термическом разложении и горении материалов пожарной нагрузки.

В настоящее время для России характерны лесные пожары, горение торфяников и бытовые пожары. Причины их различны: стихийные бедствия, человеческая неосторожность и, наконец, злоумышленники.

В таблице 23 представлены экспериментальные данные о соотношении факторов токсичности (скорость нарастания концентрации токсичных продуктов горения) и температуры среды, в зависимости от скорости развития пожара.

Таблица 23 – Значения скорости нарастания концентраций токсичных продуктов

Типы пожара	Температура, °С									
	30	40	50	60	70	80	90	100	100	120
А	0,00	0,03	0,05	0,08	1,0	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0
Б	0,00	0,05	1,0	2,2	2,5	3,2	5,0	6,0	7,5	9,0
В	0,00	2,7	5,05	7,0	8,0	11,0	13,0	16,0	18,0	20,8

А – быстро развивающийся пожар; Б – умеренный; В – медленно развивающийся пожар, предел переносимости по токсичности 900 г /мин.м³; по температуре – 100°C.

Имеются следующие исследовательские данные:

▶ предел переносимости по токсичности составляет величину 900 г/мин • м ;

▶ предел переносимости по температуре составляет величину 100°C.

Принято оценивать токсичную опасность продуктов горения интегральным показателем токсичности продуктов горения LC_{50} , определяемым как отношение материала к 1 объема замкнутого пространства, при сгорании которого выделяемые продукты вызывают гибель 50% подопытных животных. По этому показателю полимерные материалы квалифицируются на группы:

- ▶ чрезвычайно опасные – показатель токсичности до 13 г / м^3 ;
- ▶ высокоопасные – показатель токсичности от 13 г / м^3 до 40 г / м^3 ;
- ▶ умеренно опасные – показатель токсичности от 40 г / м^3 до 120 г / м^3 ;
- ▶ малоопасные – показатель токсичности выше 120 г / м^3 ;

- При анализе токсичности следует учитывать не только уровень токсичности, но и продолжительность пребывания в условиях токсичности. Время в процессе пожара, по истечении которого человек может потерять сознание или погибнуть под воздействием данного вещества, должно рассматриваться путем интегрирования площади под кривой, представляющей зависимость концентрации от времени. При одинаковой дозе токсического воздействия показатель LC_{50} для интоксикации в течение 5 мин будет в 6 раз выше, чем при интоксикации в течение 30 мин. Как отмечалось ранее, особенно губителен токсичный элемент CO.

Однако, хотя общая доза поглощения конкретным биологическим объектом интоксиканта представляет объективную характеристику отравления, но учесть эту дозу поглощенного токсического вещества не просто, поскольку при этом влияют многие свойства объектов. Поэтому принята более удобная мера, определяемая как фракционная экспоненциальная доза воздействия **FED**, характеризующая вкладом отдельного токсичного компонента в общую токсичность.

Этот показатель представляет собой отношение интегральных доз за заданный период (вычисляется как площадь, ограниченная кривой зависимости концентрации от времени и осью абсцисс - временем протекания пожара) для каждого отдельного компонента к соответствующим величинам, которые на среднестатистическом уровне (например, по справочным данным) сопровождаются гибелью 50% подопытных животных, т.е. данные по

показателю LC_{50} умноженные на продолжительность экспозиции t .

$$FED = \frac{\sum_i \left(\int_0^t C dt \right)}{[LC_{50}(i)]t} \quad (29)$$

где: C_i – концентрация i - го компонента;

t – время.

В рамках концепции N – Gas, если горение происходит одновременно на площадях A_1 , A_2 , A_3 и т.д., значение показателя токсичности вычисляется по зависимости:

$$FED = \frac{m_1 \times A_1}{LC_{50}(1)} + \frac{m_2 \times A_2}{LC_{50}(2)} + \frac{m_3 \times A_3}{LC_{50}(3)}, \quad (30)$$

где m_1 , m_2 , m_3 - массовые скорости выгорания 1,2 и 3 материалов в очаге пожара. $\text{кг/м}^2 \text{ с}$.

Для оценки и прогнозирования токсической опасности продуктов горения материалов и веществ в реальных условиях на пожарах используются как упрощенный подход с использованием несложных расчетных формул, так и метод компьютерного моделирования с использованием более точных математических моделей. При этом, естественно, данные по горящим материалам, выделяемым газовым компонентам, и по значениям показателя токсичности должны быть известны.

Токсичность продуктов горения определяется экспериментально. Для этого используются различные методы, в частности, такой метод, как сгорание в чашечной печи (Cup Furnace).

Результаты проделанных испытаний представлены в таблице 24.

В ходе экспериментов было замечено, что генерация оксида углерода как доминантного токсичного компонента из продуктов горения при пожарах зависит от степени избыточности воздуха, которое наблюдается в реальных условиях.

Таблица 24 – Результаты исследования токсичности некоторых полимерных материалов

Параметр	Сосна Дугласа		Пенополи уретан		Поливинил хлорид	
Время нагревания, мин	15	15	15	15	15	15
Площадь участка, см ²	19,4	67,7	19,4	19,4	2,4	2,4
Начальная масса образца, г	12,26	25,50	4,70	5,21	4,43	7,39
Потеря массы, %	90	84	90	89	90	90
Задержка зажигания, с	32	30	15	15	50	41
Продолжительность выгорания, с	350	510	285	285	205	235
Средняя концентрация						
O ₂ , %	16,7	13,7	18,3	18,4	19,6	18,7
CO ₂ , млн ⁻¹	39300	64400	22500	21200	10400	16500
CO, млн ⁻¹	2860	6220	1300	1740	1300	2800
HC ₁ , млн ⁻¹	-	-	-	-	1600	2200
	-	-	140	150	-	-
Концентрация дыма, г/м ³	55,1	106,8	21,1	23,2	19,9	33,2
Доля погибших животных	2/6	2/6	1/6	1/6	0/6	1/6
Всего	6/6	6/6	6/6	6/6	5/6	5/6
Параметр FED						
В ходе опыта	0,91	1,83	0,67	1,22	0,30	0,63
Всего	0,91	1,83	0,75	1,46	0,73	1,22
Выход: CO ₂ , г/г	1,45	1,28	1,91	0,077	1,04	0,083
CO, г/г	0,088	0,104	1,78	0,117	1,02	0,110
HC ₁ , г/г	-	-	-	-	0,116	0,093
HNC, г/г	-	-	0,0094	0,008	-	-
Показатель LC ₅₀ , г/см ³						
Входе опыта	56	56	-	22	-	26
Всего	56	56	-	22	-	26

Примечание, млн⁻¹ – миллионная доля, равная 10⁻⁶; относительная (безразмерная) величина.

Поэтому коэффициент LC₅₀, рассчитанный по наблюдаемым данным, следует скорректировать по формуле

$$LC_{50}(\text{корр}) = \frac{1}{LC_{50}} + 44 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-5} \frac{CO}{t} \quad (31)$$

С учетом формулы поправки (4.31) рассчитанные значения показателя LC₅₀ представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Значения показателя LC₅₀

Материал	Показатель токсичности LC ₅₀ , г/м ³			
	исходный		скорректированный	
	средний	интервал	средний	интервал
Сосна Дугласа	56	54-57	21	20,6-21,1
Пенополиуретан жесткий	22	21,6-22,2	14	14,3-14,5
Поливинилхлорид	26	21-31	16	13,7-17,5
Пенополиуретан эластичный	52	48-59	18	16,9-18,4
Пенополиуретан меламиновый	13	10-16	8	7,2-10,4
Виниловая ткань	32	28-37	19	17,7-20,9
Пенополиуретан меламиновый с виниловой тканью	26	24-28	15	14,7-16,2

Отмечается, что полученные экспериментальные данные согласуются с различными исследованиями. Это позволяет с уверенностью применять их при оценках в реальных условиях.

Практическое занятие № 4

ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЙ – УКРЫТИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА

Безопасность жизнедеятельности в значительной степени определяется атмосферными условиями, в которых люди трудятся и проживают. Одним из факторов, определяющих атмосферные условия, является температура окружающего воздуха

По результатам исследования было установлено, что микроклимат рабочего помещения характеризуется величиной результирующей температуры, которая зависит от температуры, влажности и подвижности окружающего воздуха, а также от температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций помещения. Однако в случае пожара поддержка нормативного значения результирующей температуры существенно

затруднена. Особенно это касается случаев пожаров в рабочих и соседних с ними помещениях. Опасными следует считать открытые пожары, а также пожары в завалах, возникающих при обрушениях несущих конструкций зданий.

Практика показала, что при устройстве различных приспособлений и укрытий необходимо производить оценку теплозащитных свойств самих устанавливаемых ограждений, которые могут подвергаться воздействию пожара.

В работе В.Л. Камзолкина предложено следующее рассмотрение этой проблемы. Для простоты и наглядности автор предполагает, что ограждение плоское. Исследуется случай, когда тепловая защита обеспечивается за счет тепловой инерции ограждения, поскольку процесс теплопереноса является нестационарным.

При этом вводятся безразмерные величины: T , X , θ – соответственно температура, пространственная координата и время, определяемые по соотношению:

$$\begin{aligned} T &= (t - t_0) / (t_m - t_0); \\ X &= x/H; \\ \theta &= \tau / \tau_r \end{aligned} \quad (32)$$

где: t , t_0 , t_m – текущая, начальная и характерная (например, максимальная) температуры;

x – координата рассматриваемой точки, отсчитываемая от наружной поверхности ограждения;

H – толщина ограждения;

τ – текущее время;

τ_r – характерный отрезок времени (масштаб времени).

В качестве масштаба времени используется отношение количества тепла, аккумулированного 1 м^2 ограждения при стационарной теплопередаче, к величине стационарного потока тепла через ограждение:

$$\tau_r = Q_r / q_r = \lambda \gamma C R_0 (R_0 + 2R_B) / 2; \quad (33)$$

$$Q_r = \lambda \gamma C R_0 (R_0 + 2R_B) / (t_m - t_0) / 2R; \quad (34)$$

$$q_r = (t_m - t_0) / R; \quad (35)$$

где R_0 – сопротивление теплопроводности ограждения;

R_B – сопротивление теплоотдачи на внутренней стороне ограждения;

R – полное термическое сопротивление ограждения;

λ, γ, C – соответственно коэффициент теплопроводности, плотность и теплоемкость материала ограждения;

Тогда T, X, θ может быть представлена уравнениями:

$$\frac{dT}{d\theta} = A \frac{dT}{dX}$$

$$\frac{dT}{d\theta} + Bi_H (T_H - T) = 0, \quad \text{при } X = 0$$

$$\frac{dT}{d\theta} + Bi_B (T - T_B) = 0, \quad \text{при } X = 1. \quad (36)$$

где $A = (R_0 + 2R_B) / 2R_0$;

$$Bi_H = R_0 / R_H$$

$$Bi_B = R_0 / R_B \quad (37)$$

Индексы в обозначениях переменных указывают следующее:

- ▶ 0 – для толщины ограждения;
- ▶ В – для внутренней поверхности ограждения;
- ▶ Н – для наружной поверхности ограждения.

В работе показано, что в диапазоне значений $R_0 = 0,5 - 1,5 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ решение задачи (36) слабо зависит от R_0 .

Для простоты положим R_0 равным $1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. При этом погрешность в определении температуры внутренней поверхности ограждения и потока тепла через нее не превысит 2%.

Таким образом, в пределах указанной точности и при данных предположениях решение задачи (36) зависит только от условий теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ограждения.

При температурах окружающего воздуха от 20 до 30°C значение сопротивления на внутренней поверхности ограждения меняется незначительно, и в пределах указанной точности оно может быть принято таким: $R_0 = 0,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

На поверхности ограждения, обращенной к пожару, коэффициент теплоотдачи, поскольку эта величина обратная сопротивлению теплоотдачи, рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha_H = 10 \exp(0,0023 t_H), \quad \text{Вт / м}^2\text{К}, \quad (38)$$

отсюда

$$R_H = R_{H0} (R_{Hm} / R_{H0}) T_H \quad (39)$$

где R_{H0} , R_{Hm} – сопротивления теплоотдачи на наружной поверхности ограждения при температурах воздуха t_m и t_0 .

Проведенные решения уравнений (36) показали, что при «треугольном» законе изменения температуры греющей среды на наружной поверхности ограждения от максимального значения $T_{Hm} = 1$ до минимального значения $T_{H0} = 0$ за время $\theta_n = \tau_n / \tau_r$, где τ_r – продолжительность теплового воздействия в реальном масштабе времени, кривая изменения температуры внутренней поверхности ограждения имеет выраженный максимум, значение которого тем больше, чем длительнее тепловое воздействие.

Такой вид теплового воздействия характерен для пожаров в завалах. Эти пожары отличаются большой продолжительностью при относительно невысоких температурах среды в очаге пожара.

В случае $\theta_n = \infty$ ($\theta_n = \tau_n / \tau_r$), соответствующем воздействию среды с постоянной температурой $T_{Hm} = 1$, наблюдается установление

стационарного режима с параметрами на внутренней поверхности ограждения: $q = 1$; $T_B = R_B / R$. При этом безразмерное время $\theta_n = 1,5 - 2$. В этом случае τ_T характеризует темп прогрева ограждения и тем самым в определенной степени теплозащитные свойства самого ограждения.

Пример. Обработка по методу наименьших квадратов расчетных данных задачи (36) для «треугольного» закона осуществляется при следующих значениях параметров:

$$t_0 = 20^\circ\text{C}; t_m = 270^\circ\text{C}; t_B = 30^\circ\text{C}; R_B = 0,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт};$$

$$R_{H0} = 0,1 \text{ м К/Вт}; R_{Hm} = 0,067 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}.$$

При этом длительность пожара в завале в расчетах принята от 4 до 10 сут, что позволило получить упрощенные расчетные формулы:

1. Для максимального значения теплового потока

$$q_{MAX} = 0,274 \ln(1 + \theta_n) \quad (40)$$

2. Для времени достижения этого максимума

$$\theta_{MAX} = 0,145 + \sqrt{0,021 + 0,139\theta_n}, \quad (\theta_n > 0,25) \quad (41)$$

3. Для длительности поступления тепла в помещение

$$\theta_+ = 2,0 + 0,81n\theta_n \quad (\theta_n > 0,2) \quad (42)$$

Суммарное количество тепла, передаваемое через ограждение в результате теплового воздействия, может быть вычислено как площадь фигуры, ограниченной кривой временной зависимости температуры среды на наружной поверхности ограждения и осью абсцисс. В размерных величинах

импульс потока тепла, проникающего в помещение в результате пожара, подсчитывается как отношение площади под указанной кривой к величине термического сопротивления ограждения. Используя такой прием, можно быстро провести оценки.

Численное решение задачи (4.36) при воздействии «стандартного» пожара в помещении, т.е. при повышении температуры среды по следующему закону:

$$t_n = t_0 + 345 \ln(1 + 8r) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (43)$$

где r – время от начала пожара, мин (продолжительность «стандартного» пожара 6 ч).

При расчете использовались те же исходные данные, что при предыдущем решении задачи (36), но значение максимальной температуры принималось равным $t_{Hm} = 1020 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Результаты показали, что воздействие «стандартного» пожара носит выраженный импульсный характер. Это особенно проявляется в случае, когда ограждение имеет невысокие теплозащитные свойства (при значении $\tau_r < 60$ ч). Более массивные ограждения играют роль сглаживающего фильтра и растягивают импульс во времени, снижая его высоту.

Практические оценки показали, что для выполнения инженерных расчетов можно использовать следующие упрощенные зависимости:

$$q_{MAX} = \frac{1 - e^{-362\theta}}{R} \quad (44)$$

$$T_{Bmax} = q_{max} \times R_B; \quad (45)$$

$$\theta_{max} = 0,15 + 0,25 \theta_n, \quad (46)$$

где: $\theta_n = 6 / \tau_r$ – безразмерная длительность стандартного пожара.

Таким образом, на основании полученных соотношений можно

обоснованно прогнозировать и оценивать параметры микроклимата в укрытых помещениях при воздействии наружных пожаров.

4.1 Расчет динамики опасных факторов пожара в помещении

Предельное необходимое время эвакуации людей зависит от времени воздействия различных опасных факторов пожара, которые являются или могут стать причиной, приводящей к гибели людей.

К таким опасным факторам относятся:

▶ предельная (критическая) температура окружающей среды в условиях пожара (считается, что такой температурой для человеческого организма является 70 °С, однако в определенных условиях человеческий организм в течение нескольких минут способен выдержать температуру, превышающую 100°С);

▶ резкое снижение до опасных значений концентрации кислорода (ниже 15%);

▶ достижение опасных концентраций продуктов горения или термического разложения веществ при пожаре; например: CO₂ – 6% или 162 г/м³; CO – 0,5% или 3,6 г/м³; цианистый водород (HCn) – 0,2 г/м³; хлористый водород (HCl) – 3 г/м³;

▶ потеря видимости на путях (видимость на расстоянии менее 10 м).

▶ облучение тепловыми потоками (интенсивность облучения свыше 3000 Вт/м²).

4.2 Расчет необходимого времени эвакуации по критической температуре

Допустим, что горение в начальной стадии происходит без притока внешнего воздуха. Тогда тепло, выделяющееся при горении, расходуется непосредственно на нагрев воздуха в помещении Q_В, нагрев строительных конструкций и оборудования Q_К т.е.

$$Q_{\text{ПОЖ}} = Q_{\text{В}} + Q_{\text{К}} \quad (47)$$

Естественно предположить, что

$$Q_K = \varphi Q_{\text{ПОЖ}} \quad (48)$$

где φ – коэффициент, учитывающей потери тепла на нагрев конструкций и оборудования.

Тогда уравнение (47) принимает вид:

$$(1 - \varphi)Q_{\text{ПОЖ}} = Q_B \quad (49)$$

За время, необходимое для эвакуации $\tau_{\text{НБ}}$ выделяемое количество тепла $Q_{\text{ПОЖ}}$ определяется по формуле:

$$Q_{\text{ПОЖ}} = mF_{\text{ГОР}} Q_{\text{Н}}^P \tau_{\text{НБ}} \quad (50)$$

где m – массовая скорость выгорания вещества, $\text{кг}/\text{м}^2$;

$F_{\text{ГОР}}$ – площадь горения, м^2 ;

$Q_{\text{Н}}^P$ – теплота сгорания, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Таблица 26 – Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива

Вещество	q, Дж/кг	Вещество	q, Дж/кг
Твердые топлива			
Бурый уголь	$9,3 \times 10^7$	Каменный уголь:	
Древесный уголь	$2,97 \times 10^7$	марки А – 1	$2,05 \times 10^7$
Дрова сухие	$6,3 \times 10^7$	марки А – 2	$3,03 \times 10^7$
Торф	$1,5 \times 10^7$	Кокс	$3,03 \times 10^7$
		Порох	$3,06 \times 10^6$
Жидкие топлива			
Бензин, нефть	$4,6 \times 10^7$	Лигроин	$4,33 \times 10^7$
Дизельное топливо	$4,2 \times 10^7$	Мазут	$4,0 \times 10^7$
Керосин	$4,31 \times 10^7$	Спирт этиловый	$2,7 \times 10^7$
Газообразные топлива (для 1 м^3 при нормальных условиях)			
Генераторный газ	$5,5 \times 10^6$	Природный газ	$3,55 \times 10^7$
Коксовый газ	$1,64 \times 10^6$	Светильный газ	$2,1 \times 10^7$

Теплота, идущая на нагревание воздуха в помещении объема $W(\text{м}^3)$, вычисляется по следующей формуле:

$$Q_B = WC_B (t_{\text{КР}} - t_B) \quad (51)$$

где C_B — теплоемкость воздуха (C_P – изобарическая теплоемкость воздуха; C_{CV} – изохорическая теплоемкость воздуха;

$$C_P = 3,41 \text{ кал/}^\circ\text{C}; C_P / C_{CV} = 1,41; \text{ кал/}^\circ\text{C} = 4,186 \times 8 \times 10^3 \text{ Дж/кгК};$$

t_{KP} – критическая температура нагрева;

t_B – температура воздуха в нормальных условиях.

Примечание

Поведение молекул идеального газа описывается уравнением Клайперона – Менделеева:

$$PV = mRT / \mu,$$

где m – масса вещества;

T – абсолютная температура вещества;

μ – молекулярный вес;

R – универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \text{ Дж/моль К} = 8,31 \times 10^7 \text{ эрг/моль К}$.

Основные процессы над газом

1. Изотермический – $T = \text{Const}$ (закон Бойля – Мариотта):

$$PV = \text{Const};$$

2. Изобарический – $P = \text{Const}$ (закон Гей – Люссака):

$$V = \text{Const } T = mRT / \mu P = V(1 + \alpha t),$$

где t — температура в градусах шкалы Цельсия;

3. Изохорический – $V = \text{Const}$ (закон Шарля):

$$P = \text{Const } T = mRT / \mu V = P_0 (1 + \alpha t).$$

Из уравнений (50) и (51) получаем выражение для вычисления необходимого времени эвакуации по теплу (по нагреванию):

$$\tau_{HB} = \frac{WC_B (t_{KP} - t_B)}{(1 - \varphi)nF_{ГОР}Q_H^P} \quad (52)$$

Из уравнения (52) можно определить допустимое время эвакуации при

неизменной площади горения. Такие процессы горения характерны для горения складов ЛВЖ и ГЖ при конструктивно ограниченной площади разлива.

Однако в большинстве случаев площадь горения меняется во времени, т.е. $F = f(t)$.

Тогда количество тепла, выделяемого при сгорании горючих материалов, определяется следующим образом:

$$Q_{\text{ПОЖ}} = nQ_H^P \int_0^{\tau} f(t) dt \quad (53)$$

где $\tau_r - (\tau_{\text{НБ}})$ – допустимое время эвакуации.

Рассмотрим частные случаи динамики развития площади возгорания:

1. Круговое развитие пожара:

$$F = \pi v^2 t^2 \quad (54)$$

В этом случае:

$$Q_{\text{ПОЖ}} = nQ_H^P \int_0^{\tau} \pi v^2 t^2 dt ; \quad (55)$$

$$(1 - \varphi)n Q_H^P \pi v^2 t^2 = 3WC_B(t_{\text{КР}} - t_B) \quad (56)$$

$$\tau_{\text{НБ}} = [3WC_B(t_{\text{КР}} - t_B) / (1 - \varphi)n Q_H^P \pi v^2 t^2]^{1/3} . \quad (57)$$

3. При прямоугольном развитии пожара в две стороны:

$$F = 2vbt \quad (58)$$

В этом случае:

$$Q_{\text{ПОЖ}} = nQ_H^P \int_0^{\tau} \pi v b t^2 dt = nQ_H^P v b \tau_{\text{НБ}} \quad (59)$$

$$(1 - \varphi)n Q_H^P \pi v b \tau_{НБ} = 3WC_B(t_{КР} - t_B) \quad (60)$$

$$\tau_{НБ} = [3WC_B(t_{КР} - t_B) / (1 - \varphi)n Q_H^P \pi v b]^{1/3} \quad (61)$$

где v – скорость перемещения границы пожара;

b – ширина по каждой стороне площади пожара.

4.3 Расчет необходимого времени эвакуации по снижению содержания кислорода

Снижение содержания кислорода в атмосфере до 16% считается опасным для человека. Далее полагаем, что горение происходит без вентиляции помещения, где наблюдается процесс горения. Расход кислорода на поддержание горения вещества при пожаре вычисляется по формуле

$$W(O_2) = nF_{ГОР} tw(O_2), \text{ м}^3 \quad (62)$$

где $w(O_2)$ – удельный расход кислорода, т.е. расход кислорода на сгорание 1 кг горючего вещества, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Предельный расход кислорода, т.е. количество кислорода, снижающее его содержание в атмосфере помещения до 15%, где наблюдается пожар, можно оценить соотношением:

$$W(O_2) = (0,21 - 0,15) W \approx 0,06 W, \quad (63)$$

где W – объем помещения.

При постоянной площади горения $F_{ГОР}$ необходимое время для эвакуации определяется соотношением

$$\tau_{НБ} = 0,06 W / nF_{ГОР} tw(O_2) \quad (64)$$

Аналогично предыдущему соотношению, но при круговом развитии пожара

$$\tau_{НБ} = [0,18 W / \pi v^2 w(O_2)]^{1/3} \quad (65)$$

При прямоугольном развитии пожара в две стороны

$$\tau_{НБ} = [0,18 W / \pi v b w(O_2)]^{1/2}$$

4.4 Расчет необходимого времени эвакуации по появлению токсичных продуктов горения

Если известно количество вредных веществ, выделяемых при сгорании 1 кг сгораемого вещества $w(\gamma)$ (г/кг, м³/кг), и допустимая концентрация рассматриваемого среднего вещества, т.е. γ (г/м³/кг, м³/м³), тогда уравнение баланса данного вещества может быть

$$\gamma W = nF_{\text{ГОР}} t w(\gamma) \quad (67)$$

При постоянной площади горения $F_{\text{ГОР}}$

$$\tau_{\text{НБ}} = 0,06 W / nF_{\text{ГОР}} w(\gamma) \quad (68)$$

При круговом развитии пожара

$$\tau_{\text{НБ}} = [3\gamma W / n\pi v^2 w(\gamma)]^{1/3} \quad (69)$$

При прямоугольном развитии пожара в две стороны:

$$\tau_{\text{НБ}} = [\gamma W / n v b w(\gamma)]^{1/2} \quad (70)$$

4.5 Расчет необходимого времени эвакуации по снижению видимости

Практические наблюдения показали, что эвакуация затруднена, а порой невозможна в условиях, когда видимость в помещении менее 10 м.

Если известен коэффициент ослабления видимости среды $\mu(f)$ при задымлении (при видимости 10 м $\mu(f)$ равен 0,46), уравнение баланса для расчета $\tau_{\text{НБ}}$ может быть представлено в виде:

$$\mu(f) W = nF_{\text{ГОР}} t K_{\text{Д}} \quad (71)$$

Таблица 27 – Значения коэффициента дымообразования ($K_{\text{Д}}$)

Горящее при пожаре вещество	Коэффициент дымообразования, м ³ /кг
Древесина	50 – 70
Солома	100
Резина	2400

При постоянной площади горения $F_{\text{ГОР}}$

$$\tau_{\text{НБ}} = \mu(f) W / nF_{\text{ГОР}} K_{\text{Д}} \quad (72)$$

При переменной площади горения:

► при круговом развитии пожара

$$\tau_{\text{НБ}} = [\mu(f) W / \pi \nu^2 K_{\text{д}} w]^{1/3} \quad (73)$$

► при прямоугольном развитии пожара в две стороны

$$\tau_{\text{НБ}} = [\mu(f) W / n \nu b K_{\text{д}} w]^{1/2}$$

Примечания.

1. Обычно при пожаре на организм человека действует не один какой-то фактор, а весь комплекс опасных воздействий. В современных условиях, когда еще недостаточно собрано статистических данных по влиянию различных вредных факторов, рекомендуется в качестве тнв принимать минимальные значения по всему множеству факторов.

2. Некоторыми специалистами предлагается трехмерная математическая модель расчета тепломассообмена при пожаре в помещении. Результаты решения показывают, что неучет положения проемов по высоте помещения приводит к существенным погрешностям в расчетах динамики опасных факторов пожара в помещении.

Практическое занятие №5

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАСТОВОГО САМОНАГРЕВА СЫРЬЯ В СИЛОСЕ

Самонагревание растительного сырья часто вызывает крупные пожары на элеваторах. Нередко эти пожары сопровождаются человеческими жертвами. Разработаны методы контроля самонагревания.

Специалисты предложили методы решения нестационарных температурных задач пластового самонагрева. Суть методов заключалась в следующем: вычислялось время, за которое максимальная температура сырья достигает пожароопасного значения. Однако в этих работах не учитывалась теплоотдача от сырья на стенки силоса и в окружающую среду. Реально такая теплоотдача всегда существует, и поэтому во всех случаях возможен выход на установившийся стационарный режим. И если при таком режиме температура не достигает пожароопасного значения, то она вряд ли достигнет его при другом режиме.

В работе В.П. Ольшанского рассмотрена задача самонагрева в стационарном режиме. Тогда в установившемся режиме пластового самонагревания температура насыпи T_C будет функцией одной координаты, направленной по вертикали (оси силоса). Пусть начало координат находится в центре локализованного очага самонагревания, который расположен достаточно далеко от верхнего и нижнего оснований силоса. Поскольку коэффициент теплопроводности сырья к относительно мал, то в случае локализованного источника самонагревания температура $T(x)$ будет быстро убывать с ростом $|x|$. Тогда для упрощения решения задачи можно принять высоту насыпи бесконечной, а температуру внешней среды T_H – постоянной по всей высоте насыпи силоса.

Если принять тепловой поток (теплоотдачу) от сырья в окружающую среду равным произведению $T\beta$, где $T = T_C(x) - T_H$, а β – некоторый коэффициент, то процесс теплопередачи будет описываться уравнением

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \alpha T = \frac{q(x)}{\lambda} \quad (75)$$

где $\alpha^2 = \beta p / (\lambda F)$;

p, F – соответственно периметр и площадь поперечного сечения насыпи;

$q(x)$ – плотность тепловых источников в пластовом очаге.

При этом решение уравнения (75) должно удовлетворять условию:

$$\frac{dT}{dx}_{x=\pm\infty} = 0 \quad (76)$$

Правую часть уравнения (75) можно рассматривать как четную функцию переменной x . При таком выборе потока $q(x)$ и условии (76) с применением преобразования Фурье получается следующее решение уравнения (75):

$$T(x) = \frac{2}{\pi\lambda} \times \int_0^{\infty} \frac{q(y) \cos(yx)}{y^2 + \alpha^2} \quad (77)$$

где
$$q(x) = \int_0^{\infty} q(x) \cos(yx) dx \quad (78)$$

Далее используя формулы (77, 78) находят значения температур для разных потоков $q(x)$.

1. Пусть тепловые источники распределены по закону Гаусса:

$$q(x) = q_0 \ell^{\left(\frac{x^2}{R^2}\right)} \quad (79)$$

где: q_0 и R – параметры очага возгорания, соответственно определяющие плотность тепловых источников и размер очага.

При $R \rightarrow 0$ пластовый очаг сильно локализуется в начале координат ($x = 0$), а при $R > 1$ он становится «размазанным» по насыпи силоса.

Критическая температура в центре очага достигает максимума и определяется уравнениями (77) с заданным распределением тепловых источников, т.е.:

$$T(0) = \frac{q_0}{2\alpha\lambda} R \sqrt{\pi} \ell^{\left(\frac{\alpha^2 R^2}{4}\right)} \operatorname{erfc}\left(\frac{\alpha R}{2}\right) \quad (80)$$

$$\operatorname{erfc}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \ell^{-y^2} dy - \text{дополнительный интеграл вероятности,}$$

определяется как

$$\frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \ell^{-\frac{t^2}{2}} dt = 2\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \ell^{-\frac{t^2}{2}} dt\right) = 2\left(1,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \ell^{-\frac{t^2}{2}} dt\right)$$

Для оценочных расчетов можно пользоваться таблица 28.

Таблица 28 – Значения функции $\Phi_0(x)$

X	Функция	X	Функция	X	Функция	X	Функция
0,00	0,00	0,50	0,1915	1,50	0,4332	<3,048	0,4988
0,05	0,0199	0,60	0,2257	1,70	0,4554	<3,075	0,4989
0,10	0,0398	0,70	0,2580	1,90	0,4713	<3,105	0,4990
0,15	0,0596	0,80	0,2881	2,10	0,4821	<3,138	0,4991
0,20	0,0793	0,90	0,3159	2,30	0,4893	<3,174	0,4992
0,30	0,1179	1,10	0,3643	2,70	0,4965	<3,891	0,5000
0,35	0,1368	1,20	0,3849	2,90	0,4981	-	-
0,40	0,1554	1,30	0,4032	3,00	0,4987	-	-

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int \ell^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

2. При показательном распределении источников самонагревания, т.е.:

$$q(x) = q_0 \ell^{\left(-\frac{x}{R}\right)}, \quad (81)$$

критическая температура в центре очага самонагревания определяется соотношением:

$$T(0) = \frac{q_0}{\alpha\lambda(\alpha R + 1)} R_T \quad (82)$$

3. В ряде работ рассматривается распределение источников самонагрева по закону:

$$q(x) = \frac{q_0 R^2}{x^2 + R^2} \quad (83)$$

В данном случае в центре очага самонагрева ($x = 0$) температура вычисляется по формуле:

$$T_0 = \frac{q_0}{\alpha R} R (ci(\alpha R) \sin(\alpha R) - si(\alpha R) \cos(\alpha R)) \quad (84)$$

где $si(x) = \int_0^x \frac{\sin(t)}{t} dt = x - \frac{x^3}{3 \times 3!} + \frac{x^5}{5 \times 5!} - \frac{x^7}{7 \times 7!} + \dots$ и т. д.

$$ci(x) = -\int_x^\infty \frac{\cos(x)}{x} dx = C - \ln(x) - \frac{x^2}{2 \times 2!} + \frac{x^4}{4 \times 4!} - \frac{x^6}{6 \times 6!}$$

$C = 0,5772$ – постоянная Эйлера

Расчеты, проведенные В.П. Ольшанским показывают, что максимум температуры существенно зависит от распределения тепловых источников при малых значениях αR . С ростом αR такая зависимость становится незначительной. Коэффициент теплоотдачи β существенно влияет на уровень температур.

При $\alpha R \rightarrow \infty$ (случай слабой локализации очага и большой теплоотдачи) получается асимптотическая зависимость:

$$\frac{T - 1}{\alpha R^2}$$

Отсюда: при больших αR температура T не зависит от закона распределения тепловых источников.

Отсюда видно, что при больших αR температура T не зависит от закона распределения тепловых источников. В таблице 29 представлены значения температур различных αR и $q(x)$.

Таблица 29 – Значения T при различных αR и $q(x)$

αR	Расчеты по формулам			αR	Расчеты по формулам		
	$\Phi(80)$	$\Phi(82)$	$\Phi(84)$		$\Phi(80)$	$\Phi(82)$	$\Phi(84)$
0,01	88,125	99,010	152,04	1,30	0,372	0,334	0,410
0,02	43,815	49,020	74,190	1,50	0,299	0,267	0,324
0,04	21,664	24,038	35,598	2,00	0,189	0,167	0,199
0,06	14,283	15,723	22,899	2,50	0,130	0,114	0,135
0,08	10,595	11,574	16,628	3,00	0,095	0,083	0,097
0,10	8,383	9,091	12,910	3,50	0,072	0,064	0,073
0,20	3,972	4,167	5,684	4,00	0,057	0,050	0,057
0,30	2,514	2,564	3,412	4,50	0,046	0,040	0,046
0,40	1,792	1,786	2,335	5,00	0,038	0,033	0,038
0,50	1,365	1,333	1,721	5,50	0,031	0,028	0,031
0,60	1,095	1,042	1,331	6,00	0,027	0,024	0,027
0,70	0,888	0,840	1,064	7,00	0,020	0,018	0,020
0,80	0,743	0,694	0,873	8,00	0,016	0,014	0,016
0,90	0,632	0,585	0,731	9,00	0,012	0,011	0,012
1,00	0,546	0,500	0,621	10,0	0,010	0,010	0,010

Таким образом, используя таблицу 29, можно оценить максимальную температуру самонагрева сырья при заданных параметрах пластового очага и коэффициента теплоотдачи.

Практическое занятие №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЖАРА

Продолжительность любого пожара τ в часах можно определить, если известно количество горючего вещества и скорость его выгорания, используя зависимость:

$$\tau = \frac{q}{v}, \quad (85)$$

где : q – количество горючего вещества, кг / м²;

v – скорость выгорания данного вещества, кг / м².

Приближенное значение расчетной продолжительности пожара может быть определено по эмпирической зависимости:

$$X = (F_{\text{ПОМ}} / F_{\text{ОК}}) \times (q_1/v_1 + q_1/v_1 + \dots + q_n / v_n), \quad (86)$$

где: $F_{\text{ПОМ}}$, $F_{\text{ОК}}$ – площади помещения и оконных проемов, м^2 ;

$q_1 \dots q_n$ – количество каждого вида горючего вещества, $\text{кг} / \text{м}^2$;

$v_1 \dots v_n$ – коэффициенты, учитывающие скорость выгорания веществ, $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$.

Эта зависимость справедлива, если $F_{\text{ПОМ}} / F_{\text{ОК}} = 4 \dots 10$, а отношение ширины оконного проема к его высоте равно 1/2. Коэффициенты « v » в этой формуле ($\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$) численно равны количеству горючего вещества, при котором продолжительность пожара будет составлять 1 час стандартного температурного режима. Виды горючих материалов представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Горючие материалы

Материалы	v
Моторные топлива, другие горючие жидкости	15
Трансформаторное масло, мазут	20
Каучук, полистирол	25
Резина, резинотехнические изделия, оргстекло, капрон	35
Ацетатный шелк, целлофан, автомобильные шины	40
Древесина, деревянная мебель	56
Текстолит, триацетат	60
Линолеум, штапель и хлопок разрыхленные, карболитовые изделия	120
Бумага в кипах	300
Хлопок в кипах	600

Несмотря на кажущуюся простоту определения продолжительности пожара, выражение (1) не учитывает такой важный фактор, как температура, которая зависит от скорости выгорания, условий притока воздуха в зону горения, измельченности вещества и условий его размещения. Практика показывает, что продолжительность пожара может колебаться в значительных пределах, однако в большинстве случаев она не превышает 2-3 часа. Международной организацией по стандартизации была предложена температурная кривая $t = f(\tau)$, которая принята в качестве температурного режима для испытаний строительных конструкций на огнестойкость:

$$t_n = 345 \lg (8\tau + 1) + 1t_0, \quad (87)$$

где: t_n – температурный режим, °С;

t_0 – температура окружающей среды, °С;

τ – расчетное время пожара, мин.

Задание: Определить температурный режим пожара в складских помещениях, где хранятся следующие материалы (таблица 31)

Таблица 31 – Материалы

№ Вар.	Размеры склада		q, кг/ м ²	Хранящиеся материалы
	F _{ПОМ} , м ²	F _{ОК} , м ²		
1	20	5	180	Бензин в бочках
2	20	4	360	Бензин в бочках
3	20	3	540	Бензин в бочках
4	30	5	180	Дизельное топливо и смазочные масла
5	30	4	360	Дизельное топливо и смазочные масла
6	30	3	540	Дизельное топливо и смазочные масла
7	12	3	360	Трансформаторное масло
8	24	4	500	Покрышки от тракторов
9	24	6	600	Оргстекло, капрон
10	24	6	700	Резина, резино – технические изделия
11	30	5	500	Целлофан
12	30	5	400	Древесина, мебель
13	60	6	400	Древесина, мебель
14	60	12	400	Древесина, мебель
15	60	10	700	Линолеум
16	60	15	600	Текстолитовые изделия
17	120	12	500	Бумага в кипах
18	120	30	500	Бумага в кипах
19	120	12	400	Хлопок в кипах
20	120	30	400	Хлопок в кипах

Примечание: Студенты выполняют расчеты в соответствии с порядковым номером в журнале посещаемости.

Практическое занятие №7

ОЦЕНИТЬ ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ОГРАЖДЕНИЙ – УКРЫТИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА

Рассчитать теплозащитные свойства требуемых ограждений по данным занятия №6. Данные взять из работы №6 и таблиц в приложении.

Рассматривается случай, когда тепловая защита обеспечивается за счет тепловой инерции ограждения.

При этом вводятся безразмерные величины: T , X , θ – соответственно температура, пространственная координата и время, определяемые по соотношению:

$$\begin{aligned} T &= (t - t_0) / (t_m - t_0); \\ X &= x/H; \\ \theta &= \tau / \tau_r \end{aligned} \quad (88)$$

где: t , t_0 , t_m – текущая, начальная и характерная (например, максимальная) температуры;

x – координата рассматриваемой точки, отсчитываемая от наружной поверхности ограждения;

H – толщина ограждения;

τ – текущее время;

τ_r – характерный отрезок времени (масштаб времени).

В качестве масштаба времени используется отношение количества тепла, аккумулированного 1 м^2 ограждения при стационарной теплопередаче, к величине стационарного потока тепла через ограждение:

$$\begin{aligned} \tau_r &= Q_r / q_r = \lambda \gamma C R_0 (R_0 + 2R_B) / 2; \\ Q_r &= \lambda \gamma C R_0 (R_0 + 2R_B) / (t_m - t_0) / 2R; \\ q_r &= (t_m - t_0) / R; \end{aligned} \quad (89)$$

где R_0 – сопротивление теплопроводности ограждения;

R_B – сопротивление теплоотдачи на внутренней стороне ограждения;

R – полное термическое сопротивление ограждения;

λ, γ, c – соответственно коэффициент теплопроводности, плотность и теплоемкость материала ограждения;

Тогда T, X, θ может быть представлена уравнениями:

$$\frac{dT}{d\theta} = A \frac{dT}{dX}$$

$$\frac{dT}{d\theta} + Bi_H (T_H - T) = 0, \quad \text{при } X = 0$$

$$\frac{dT}{d\theta} + Bi_B (T - T_B) = 0, \quad \text{при } X = 1. \quad (90)$$

где $A = (R_0 + 2R_B) / 2R_0$;

$$Bi_H = R_0 / R_H$$

$$Bi_B = R_0 / R_B \quad (91)$$

В диапазоне $R_0 = 0,5 - 1,5 \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$ решение задачи (3) слабо зависит от R_0 , при $t = 25 - 30^\circ\text{C}$, $R_0 = 0,2 \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$.

На поверхности, обращенной к пожару, коэффициент теплоотдачи (величина, обратная сопротивлению теплоотдачи) рассчитывается

$$\alpha_H = 10 \exp(0,0023 t_H), \quad \text{Вт} / \text{м}^2\text{К}, \quad (92)$$

отсюда $R_H = R_{H0} (R_{Hm} / R_{H0}) T_H$

где R_{H0}, R_{Hm} – сопротивления теплоотдачи на наружной поверхности при температурах воздуха t_m и t_0 .

Решения уравнений (4) показали, что при «треугольном» законе изменения температуры греющей среды на наружной поверхности от $T_{Hm} = 1$ до $T_{H0} = 0$ за время $\theta_H = \tau_n / \tau_r$, кривая изменения температуры внутренней поверхности имеет максимум, величина которого пропорциональна времени воздействия. Такой вид характерен для завалов.

Обработка по методу наименьших квадратов задачи (4) для «треугольного» закона осуществляется при следующих значениях

параметров: $t_0 = 20^\circ\text{C}$, $t_m = 270^\circ\text{C}$, $t = 30^\circ\text{C}$, $R_B = 0,2 \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$; $R_{H0} = 0,1 \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$; $R_{H0} = 0,067 \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$.

При этом длительность пожара принята от 4 до 8 суток, что позволило получить упрощенные зависимости:

► для максимального значения теплового потока:

$$q_{\max} = 0,274 \ln (1 + 7,60 \theta_H); \quad (93)$$

► для времени достижения этого максимума

$$\theta_{\max} = 0,145 + \sqrt{0,021 + 0,139\theta_n} \quad \theta_n > 0,25 \quad (94)$$

► для длительности поступления тепла в помещение

$$\theta_+ = 2,0 + 0,8 \ln \theta_n, \quad \theta_n > 0,2 \quad (95)$$

Суммарное количество тепла, передаваемого через ограждение, вычисляется как площадь фигуры зависимости температуры и осью абсцисс, а в размерных величинах как отношение площади к величине термического сопротивления ограждения.

При продолжительности «стандартного» пожара 6 ч., температура повышается по закону (3, задание 1), при расчете принималась $t_{\max} = 1020^\circ\text{C}$.

Для выполнения инженерных расчетов можно пользоваться зависимостями:

$$q_{\max} = \frac{1 - e^{-36220}}{R}$$

$$T_{V\max} = q_{\max} \times R_B; \quad (10)$$

$$\theta_{\max} = 0,15 + 0,25 \theta_n, \quad (94)$$

где: $\theta_n = 6 / \tau_r$ – безразмерная длительность стандартного пожара.

Практическое занятие №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИИ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Избыточное давление при воспламенении индивидуальных веществ рассчитывается по зависимости:

$$\Delta P = 33292 \times \frac{mZ}{V_{\Pi} \rho_B c}, \quad \text{кПа} \quad (95)$$

где m – масса горючего газа, пара ЛВЖ или взвешенной в воздухе горючей пыли, поступившей из разгерметизированного технологического оборудования, кг;

Z – коэффициент участия горючего вещества во взрыве ($Z = 0,5$ для газов и пылей, $Z = 0,3$ для паров жидкостей, $Z = 1$ для водорода):

V_{Π} – свободный объем помещения, принимаемый равным 0,8 от геометрического объема, м³;

ρ_B – плотность газа или пара при расчетной температуре, кг/м³;

c – стехиометрическая концентрация.

Плотность газа или пара определяется по зависимости

$$\rho_B = \frac{M}{22,1(1 + \alpha t)}, \quad (96)$$

где M – молекулярная масса, кг/кмоль;

$\alpha = 0,00367$, град⁻¹ – коэффициент температурного расширения газа;

t – расчетная температура помещения, °С.

Стехиометрическая концентрация, % об, вычисляется по формуле

$$c_{CT} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (97)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения:

$$\beta = n_c + \frac{n_h + n_x}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (98)$$

где: n – число атомов С, Н, О и галоидов Х в молекуле горючего.

8.1 Определить категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности

Помещение (назначение, площадь, высота).

Объем помещения – V , м³.

Место расположения – Брянская область.

Кратность вентиляции – K_v .

Коэффициент, учитывающий аварийную вентиляцию $K = K_v \tau + 1$, с⁻¹.

Продолжительность поступления взрывоопасных веществ в помещение – τ , ч.

Пожарная нагрузка – Q .

Площадь размещения пожарной нагрузки – S , м².

Низшая теплотворная способность – Q_H , МДж / кг.

Количество i -го материала пожарной нагрузки – G_i , кг.

Пример расчета

Определить категорию аккумуляторного отделения по взрывопожарной и пожарной опасности объемом $(3 \times 4 \times 3)$, $V = 36$ м³. Количество одновременно заряжаемых аккумуляторных батарей 6, СТ-55 – 20 шт. Длительность перезарядки (аварийного режима) $\tau_{АКК}$ – 1 ч, перегрузка по зарядному току – четырехкратная. Принудительная вентиляция не предусмотрена. Определить кратность системы аварийной вентиляции.

Решение:

1. В обычном режиме ток зарядки составляет 0,1 от номинальной емкости. В аварийном режиме он равен:

$$J_{ЗАР} = 4 \times 0,1 \times 55 = 22А$$

2. По СН и П 21.01 определяем максимальную абсолютную температуру в Брянской области, $t_{РАСЧ} = 35^\circ\text{C}$.

3. Удельная масса водорода (m^P) в одном элементе аккумуляторной батареи при установившемся динамическом равновесии между силой зарядного тока и количеством выделяющегося газа

$$m^P = \frac{a}{Fv} = \frac{1 \times 10^{-3}}{9,65 \times 10^4} \quad (99)$$

где $F = 9,65 \times 10^4$ – постоянная Фарадея;

a – атомная единица массы водорода, $1_{\text{АЕМ}} = 1 \times 10^{-3}$ кг / моль;

$v = 1$ – валентность водорода.

4. Количество водорода, выделившегося за аварийный период

$$m_H = m^P \times N_{\text{АКК}} J_{\text{ЗАР. АКК}} = 1,036 \times 10^{-8} \times 6 \times 20 \times 22 \times 3600 = 98,46 \times 10^{-3}$$

5. Плотность водорода (2)

$$\rho_B = \frac{M}{22,4(1 + \alpha t)} = \frac{2}{22,4(1 + 0,0036 \times 38)} = 78,3 \text{ , кг/м}^3$$

6. Стехиометрический коэффициент: 0

$$\beta = 0 + \frac{2-0}{4} - \frac{0}{2} = 0,5$$

7. Стехиометрическая концентрация

$$c_{CT} = \frac{100}{1 + 4,84\beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \times 0,5} = 29,24 \% \text{ об}$$

8. По зависимости (1) рассчитываем избыточное давление

$$\Delta P = 33292 \times \frac{mZ}{Vn\rho_B c} = \frac{98,46 \times 10^{-3}}{36 \times 78,3 \times 10^{-3} \times 29,24} = 39,77 \text{ , кПа}$$

Так как избыточное давление больше 5кПа, аккумуляторное давление следует отнести к категории А.

9. Определим требуемую кратность воздухообмена, исходя из условий

$$K_B = \frac{\Delta P - 5}{5\tau} = \frac{39,77 - 5}{5 \times 1} = 6,95$$

Принимаем с небольшим запасом требуемую кратность вентиляции: $K_{\text{тр}} = 7,5$.

Практическое занятие №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИИ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ПОЖАРООПАСНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ ГОРЮЧЕГО ВЕЩЕСТВА

С учетом численных значений коэффициентов, входящих в (99) для различных агрегатных состояний веществ, получаем:

$$\Delta P = 0,096 \frac{m Q_n Z}{V_n R} , \quad (100)$$

Величина m рассчитывается в зависимости от агрегатного состояния горючего вещества

9.1 При разгерметизации аппарата с горючим газом

$$m = (V_1 + V_{\text{ТР}}) \times \rho ,$$

$$V_1 = V_{\text{АП}} \frac{P_{\text{АП}}}{P_0} \times \frac{T}{T_0} \times \rho$$

$$V_{\text{ТР}} = V_1 \tau + V_2 \tau ,$$

где : V_1 – объем газа, поступившего из аппарата, м³;

$V_{\text{АП}}$ – объем аппарата, м³;

$P_{\text{АП}}$ – давление в аппарате, кПа;

$V_{\text{ТР}}$ – объем газа, вышедшего из трубопровода, м³;

ρ – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³;

$V_1 \tau = q \tau$ – объем газа, выходящего из подводящего трубопровода, м³ / с;

q – расход газа из трубопроводов, м³;

τ – время отключения трубопроводов, с;

$V_2 \tau = 0,01 r l$ – объем газа, вышедшего из подводящего трубопровода после его отключения, м³;

r – радиус сечения трубопровода, м;

l – длина трубопровода от аппарата до задвижки, м.

9.2 При разгерметизации оборудования с ЛВЖ

$$m = m_p + m_{\text{И}} + m_{\text{СП}}, \quad (101)$$

где: $m_{\text{И}} = W_{\text{И}} \times F_{\text{И}} \times \tau_{\text{И}}$ – масса жидкости, испарившаяся при разливе, кг;

m_p – масса жидкости, испарившаяся с поверхности аппарата, кг;

$m_{\text{СП}}$ – масса жидкости, испарившаяся со свежоокрашенной поверхности, кг,

$$W_{\text{И}} = 10^{-6} \times \eta \times p_{\text{Н}} \sqrt{M} \text{ – скорость испарения, кг / м}^2\text{с;}$$

η – коэффициент учета движения воздуха, определяемый по таблице 7.2;

M – молекулярная масса ЛВЖ, кг / моль;

$p_{\text{Н}}$ – давление насыщенных паров при расчетной температуре, кПа;

$F_{\text{И}}$ – поверхность разлива, л / м², если ЛВЖ содержит более 70% растворителя, и л / 0,5м², в остальных случаях;

$\tau_{\text{И}}$ – время испарения (принимается по времени полного испарения, но не более 3600 с).

9.3 При наличии взрывоопасной пыли

$$m_{\text{ВОП}} = m_{\text{ВС}} + m_{\text{АВ}},$$

$$m_{\text{ВЗ}} = K_{\text{ВЗ}} \times m_{\text{П}}, \quad (102)$$

$$m_{\text{П}} = K_{\text{Г}} (m_1 + m_2) / K_{\text{У}},$$

где: $K_{\text{ВЗ}}$ – доля взвешенной пыли ($K_{\text{ВЗ}} = 0,9$);

$K_{\text{Г}}$ – доля горючей пыли;

$K_{\text{У}}$ – коэффициент эффективности уборки, принимаемый:

при ручной сухой уборке $K_{\text{У}} = 0,6$;

при влажной $K_{\text{У}} = 0,7$;

при механизированной на ровном полу $K = 0,9$,

на полу с выбоинами $K_{\text{У}} = 0,7$;

$m_1(2) = M_1 (1 - \alpha) \beta (2)$ – масса пыли, оседающей за между уборочный период, кг;

M_1 – масса пыли, выделившаяся за этот период из оборудования, кг;

α – доля пыли, удаляемой вентиляцией;

β_1 – доля пыли на трудно доступных местах (обычно $\beta_1 = 1$);

β_2 – доля пыли на доступных местах (обычно $\beta_2 = 0$);

m_2 – масса взвихрившейся пыли, кг;

$m_{AB} = (m_{АП} + q\tau)K_{П}$ – масса пыли, выброшенной при аварии из аппарата, кг;

$K_{П}$ – коэффициент пыления, равный 0,5 при размере частиц более 350 мкм и 1,0 - при размере частиц менее 350 мкм.

Пример расчета избыточного давления взрыва при работе в помещениях со взрывоопасной пылью

Исходные данные: мукомольный цех по дроблению ячменя.

$$Q_n = 17372 \text{ кДж / кг}; Z = 0,5; K = 3.$$

При подстановке этих значений в формулу (1) получаем:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0,096 m Q_n Z / V_{П} K = 0,096 \times 17,372 \times 10^6 \times 0,5 m / 3 V_{П} = \\ &= 834 m / V_{П}, \text{ кПа.} \end{aligned} \quad (103)$$

Если $V = 0,8 F \times H$, то

$$\Delta P = 1042 m / F \times H,$$

где: F – площадь пола, m^2 ;

H – высота помещения, м.

При $m_{ВЗ} = 0$ и $m_{AB} = 0$, $m_{ВЗ} = K_{ВЗ} \times m_{П} = 0,9 m_{П}$,

где $m_{П} = K_{Г} (m_1 + m_2) / K_{У}$.

Принимая $K_{Г} = 1$, $K_{У} = 0,7$ (для ручной влажной уборки) получаем:

$$m_{П} = 1,29 (m_1 + m_2). \quad (104)$$

Значения m_i гш определяются в соответствии с методикой

классификации пылевого режима производственных помещений элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов по взрывоопасности:

$$m_1 = (G_{\text{ПОТ}} F_{\text{ПОТ}} + G_{\text{СТ}} F_{\text{СТ}} + G_{\text{ТР. ДОСТ.}} F_{\text{ТР. ДОСТ.}}) \times \tau_1 \times 10^{-3} \quad (105)$$

$$m_2 = G \times F(2 \times K_{\text{УБ}}) \times \tau_2 \cdot 10^{-3} \quad (106)$$

где: $G_{\text{ПОТ}}$, $G_{\text{СТ}}$, $G_{\text{ТР. ДОСТ.}}$ – интенсивность пылеотложения на потолке, стенках и труднодоступных местах, г / м² ч;

$F_{\text{ПОТ}}$, $F_{\text{СТ}}$, $F_{\text{ТР. ДОСТ.}}$ – площадь потолка, стен и труднодоступных мест, м²;

G – интенсивность пыле отложения на полу, г / м²ч;

F – площадь пола, м²;

$\tau_1 = 10 \times 24$ – период между генеральными уборками, ч;

$\tau_2 = 8$ – период между текущими уборками, ч;

$K_{\text{УБ}} = 0,9$ – эффективность уборки пыли пола.

Подставляя (8) и (7) в формулу (6) и принимая

$$G_{\text{ПОТ}} = 0,1 G, G_{\text{СТ}} = 0,15 G, G_{\text{ТР. ДОСТ.}} = 0,5 G;$$

$$F_{\text{СТ}} = 2 F_{\text{ПОТ}}, F_{\text{ТР. ДОСТ.}} = 0,25 F_{\text{ПОТ}}, \text{ находим массу } m:$$

$$m = 175 G F \quad (107)$$

Подставляя полученные значения в уравнение (10), получаем:

$$\Delta P = 180 G/H \quad (108)$$

Очень важно классифицировать пылевой режим производственных помещений.

В качестве критерия выбирается критическое значение пылевыделения $G_{\text{КР.}}$

При условии, что предельное значение давления 5 кПа, период между генеральными уборками 10 суток, а между текущими 8 часов, предварительная оценка критического значения пылевыведения :

$$G_{\text{кр}} = 0,0275 \text{ Н} \quad (109)$$

Классификация пылевого режима на основе измеренного значения G и $G_{\text{кр}}$ позволяет производить оценку взрывоопасности:

если $(G / G_{\text{кр}}) < 1$ – помещение относят к классу взрывобезопасного;

если $(G / G_{\text{кр}}) > 1$ – помещение относят к классу взрывоопасного.

Практическое занятие №10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРООПАСНОЙ КАТЕГОРИИ ПОМЕЩЕНИЙ В1-В4

При $H < 11\text{м}$

$$I = I_{\text{ПР}} + (11 - H)$$

Предельные расстояния зависят от минимального расстояния от поверхности пожарной нагрузки до перекрытия «Н», а для твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов, - от величины критической плотности падающих лучистых потоков $g_{\text{ПР}}$, кВт/м².

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ и ГЖ , расстояния между соседними участками задаются условиями:

$$I_{\text{ПР}} > 15\text{м} \quad \text{при } H > 11\text{м};$$

$$I_{\text{ПР}} > (26 - H) \text{ м при } H < 11\text{м}.$$

Для пожарной нагрузки из твердых материалов должны выполняться следующие условия:

$$I = I_{\text{ПР}} , \text{ при } H > 11\text{м};$$

$$I = I_{\text{ПР}} + (11 - H) , \text{ при } H < 11 \text{ м}.$$

Участком размещения пожарной нагрузки из твердых горючих и трудногорючих материалов (ТГМ) считается часть площади пола помещения, на которой складированы ТГМ или изделия из них, рабочие места, столы, ремонтные позиции и т.д., при наличии между ними проходов шириной не более 11,5 м.

Проходы и проезды шириной более 1,5м являются границами участка. Участки размещения пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ и ГЖ, считается площадь разлива жидкости на пол или площадь, ограниченная местными противопожарными преградами в виде поддонов, приямков, бортиков, вмещающими весь объем аварийного разлива.

Площадь поверхности разлившейся жидкости $S_{м^2}$ определяется из расчета, что 1л смесей и растворов, содержащих менее 70% растворителей, разливается на площади 0,5 м², а остальные жидкости - на площади 1м². При этом за форму разлива принимается

круг радиусом
$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Для материалов с неизвестными значениями $g_{кр}$ предельные расстояния принимаются $I_{пр} \geq 12$ м.

Практическое занятие №11

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ, В ПОЖАРНОМ ОТНОШЕНИИ

Характер эвакуации накладывает определенные требования на конструктивно – планировочные решения. Движение в одном направлении зависит от плотности людского потока D , чел/ м:

$$D = N_i / F_i \quad (110)$$

где: N_i – количество людей на i -м участке движения;

F_i – площадь i – го участка, м² (таблица 32).

Таблица 32 – Удельная площадь f (в плане) на 1 человека

Характеристика движущегося человека	Величина f , м ² / чел.
Взрослый человек в домашней одежде	0,1
Взрослый человек в зимней одежде	0,125
Подросток	0,07
Взрослый с ребенком на руках и с сумкой	0,26
Взрослый с сумкой	0,16
Взрослый с чемоданом	0,36

Относительная плотность людского потока D_o (м²/м²) и скорость движения V_i

$$D_o = D \times F = \frac{fN_i}{F_i}; \text{ где } V_i = \frac{l_i}{\tau_i}; F_i = l_i \times \delta_i, \text{ (м/мин)} \quad (111)$$

где: l_i – длина участка прохождения;

δ_i – ширина участка;

τ_i – время прохождения участка пути, мин.

Таблица 33 – Зависимость скорости движения людского потока от плотности

Плотность потока, D , м ² /м ²	Горизонтальный путь, м		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	V	q	q	V	q	V	q
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,5	22	И
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

q – интенсивность движения, м/мин

При определении интенсивности движения необходимо учитывать слияние потоков. Если расчетная величина интенсивности превышает значения таблицы 2, то ширину прохода следует увеличить по формуле:

$$\delta_i = l_i / V_i \quad (112)$$

Если число людей на 1 выход не превышает 50, а расстояние до ближайшего выхода 25 м, – такие участки считаются не критичными.

Последовательность решения задачи.

Рекомендуется следующая методика расчета:

1. На плане размещения каждого этажа намечаются маршруты движения людских потоков. На каждом участке определяется плотность потока. Учитываются узлы слияния потоков. Рассчитывается время оставления помещений и движения по лестницам до нижнего этажа.

2. На более низком этаже производят вычисления по п.1. Время движения по лестницам рассчитывается по интегральному потоку, учитывая и верхние этажи.

3. Рассчитывается время удаления людей на безопасное расстояние.

4. Расчетное время на каждом этаже сопоставляется с необходимым временем эвакуации. При его увеличении, расчеты повторяются с корректировкой процесса эвакуации.

Пример задачи.

Исходные данные по объекту, подвергшемуся пожару:

степень огнестойкости здания I;

категория производства А;

этажность производственного помещения 2.

Показатели	Значения показателей	
	По первому этажу	По второму этажу
Число помещений	3	1
Площадь, в 1000 м ²	1,44	1,05
Объем, в 1000 м ³	16,4	21
Число оборудования, шт	130	40
Средняя ширина прохода, м	0,74	0,81
Длина коридора, м	12,0	16,0
Ширина коридора, м	6	6
Ширина выходных дверей, м	2,0	2,0
Количество дверей	3	1
Количество лестниц	2	2
Общая ширина лестниц, м	7	7

Время эвакуации, мин		
Из цехов: расчетное нормативное	1,8 0,9	0,5 0,6
Из коридора: расчетное нормативное	3,8 1,0	0,7 1,0
По лестницам: расчетное нормативное	0,9 1,0	0,2 1,0
Отхода от здания	2,4	0,0

Практическое занятие №12

РАСЧЁТ ВРЕМЕНИ САМОНАГРЕВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Самонагревание растительного сырья приводит иногда к значительным пожарам на элеваторах. В стационарном режиме пластового самонагревания Температура насыпи « T_C » будет функцией координаты, направленной по вертикали (оси силоса). Если предположить начало координат в центре локализованного очага саморазогрева вследствие того, что коэффициент теплопроводности сырья « X » сравнительно мал, то температура саморазогревания « $T(x)$ » будет быстро убывать с ростом « x ».

Принимаем:

βT – теплоотдача от сырья в окружающую среду (β – коэффициент);

$$T = T_C(x) - T_H;$$

T_H – температура внешней среды, постоянная по всей высоте силоса.

Тогда процесс теплоотдачи: Правую

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \alpha^2 T = -q(x) / \lambda \quad (113)$$

где: $\alpha^2 = p/kF$;

p, F – периметр и площадь поперечного сечения насыпи;

$q(x)$ – плотность тепловых источников в пластовом очаге.

Решение уравнения (4) должно удовлетворять условию:

$$dT/dx |_{\pm\infty} = 0 \quad (114)$$

Правую часть уравнения (4) можно рассматривать как функцию переменной «х». При выборе потока $q(x)$ применением преобразования Фурье получаем:

$$T(x) = \frac{2}{\pi\lambda} \times \int_0^{\infty} \frac{q(y) \cos(yx)}{y + a} \quad (115)$$

$$q(x) = \int_0^{\infty} q(x) \cos(yx) dx \quad (116)$$

По зависимостям (6,7) находят значения температур для разных потоков $q(x)$.

Порядок решения:

1) Допустим, что тепловые источники распределены по закону Гаусса:

$$q(x) = q_0 \ell^{\left(\frac{x^2}{R^2}\right)} \quad (119)$$

где: q_0 и R – параметры очага возгорания, соответственно определяющие плотность тепловых источников и размер очага.

При $R \rightarrow 0$ пластовый очаг сильно локализуется в начале координат ($x = 0$), а при $R > 1$ он становится «размазанным» по насыпи силоса. Критическая температура в центре очага достигает максимума и определяется уравнениями (6,7) с заданным распределением тепловых источников, т.е.:

$$T(0) = \frac{q_0}{2\alpha\lambda} R \sqrt{\pi} \ell^{\left(\frac{\alpha^2}{R^2}\right)} \operatorname{erfc}\left(\frac{\alpha R}{2}\right) - \text{дополнительный интеграл вероятности.}$$

Для оценочных расчетов можно пользоваться таблица 35.

Таблица 35 – Значения функции $\Phi_0(x)$

X	Функция	X	Функция	X	Функция	X	Функция
0,00	0,00	0,50	0,1915	1,50	0,4332	<3,048	0,4988
0,05	0,0199	0,60	0,2257	1,70	0,4554	<3,075	0,4989
0,10	0,0398	0,70	0,2580	1,90	0,4713	<3,105	0,4990
0,15	0,0596	0,80	0,2881	2,10	0,4821	<3,138	0,4991
0,20	0,0793	0,90	0,3159	2,30	0,4893	<3,174	0,4992
0,30	0,1179	1,10	0,3643	2,70	0,4965	<3,891	0,5000
0,35	0,1368	1,20	0,3849	2,90	0,4981	-	-
0,40	0,1554	1,30	0,4032	3,00	0,4987	-	-

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

2) При показательном распределении источников самонагрева, т.е.:

$$q(x) = q_0 e^{-\frac{x}{R}}, \quad (120)$$

критическая температура в центре очага самонагрева определяется соотношением:

$$T(O) = \frac{q_0 R}{\alpha \lambda (\alpha R + 1)} R_T \quad (121)$$

3) В ряде работ рассматривается распределение источников самонагрева по закону:

$$q(x) = \frac{q_0 R^2}{x^2 + R^2} \quad (122)$$

В данном случае в центре очага самонагрева ($x = 0$) температура вычисляется по формуле:

$$T_0 = \frac{q_0}{\alpha R} R (ci(\alpha R) \sin(\alpha R) - si(\alpha R) \cos(\alpha R)) \quad (123)$$

где
$$si(x) = x - \frac{x^3}{3 \times 3!} + \frac{x^5}{5 \times 5!} - \frac{x^7}{7 \times 7!} + \dots$$

$$ci(x) = C - \ln(x) - \frac{x^2}{2 \times 2!} + \frac{x^4}{4 \times 4!} - \frac{x^6}{6 \times 6!}$$

$C = 0,5772$ – Постоянная Эйлера

Проведенные расчеты, показали, что максимум температуры существенно зависит от распределения тепловых источников при малых значениях αR . С ростом αR такая зависимость становится незначительной. Коэффициент теплоотдачи ρ существенно влияет на уровень температур. При $\alpha R \rightarrow q_0$ (случай слабой локализации очага и большой теплоотдачи) получается асимптотическая зависимость:

$$\frac{T - 1}{\alpha R^2}$$

Отсюда: при больших αR температура T не зависит от закона распределения тепловых источников.

Практическое занятие №13

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ДЫМА ПРИ ПОЖАРЕ

Выживаемость человека при пожаре определяется сочетанием ряда факторов: открытый огонь и искры, температура окружающей среды, дым, пониженная концентрация кислорода, падение частей строительных конструкций, опасных воздействий взрыва. При пожаре, находясь в помещении, человек подвергается в первую очередь воздействию повышенной температуры и токсичности примесей дыма.

В настоящее время для России характерны лесные пожары, горение торфяников и бытовые пожары. Причины их различны: стихийные бедствия, человеческая неосторожность, злоумышленники. В таблице 36 представлены данные о соотношении факторов токсичности (скорости нарастания концентрации продуктов токсичности) и температуры среды в зависимости от скорости развития пожара.

Таблица 36 – Данные соотношения факторов

Типы пожара										
	30	40	50	60	70	80	90	100	100	120
А	0,00	0,03	0,05	0,08	1,0	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0
Б	0,00	0,05	1,0	2,2	2,5	3,2	5,0	6,0	7,5	9,0
В	0,00	2,7	5,05	7,0	8,0	11,0	13,0	16,0	18,0	20,8

А – быстро развивающийся пожар; Б – умеренный; В – медленно развивающийся пожар, предел переносимости по токсичности 900 г / мин.м³; по температуре – 100°С.

Принято оценивать токсичную опасность продуктов горения интегральным показателем токсичности продуктов горения LC₅₀, определяемым как отношение материала к 1 объема замкнутого пространства, при сгорании которого выделяемые продукты вызывают гибель 50% подопытных животных. По этому показателю полимерные материалы квалифицируются на группы:

- ▶ чрезвычайно опасные – показатель токсичности до 13 г / м³;
- ▶ высокоопасные – показатель токсичности от 13 г / м³ до 40 г / м³;
- ▶ умеренно опасные – показатель токсичности от 40 г / м³ до 120 г / м³;
- ▶ малоопасные – показатель токсичности выше 120 г / м³;

При анализе следует учитывать не только уровень, но и время токсичности, т.к. при одинаковой дозе токсичности показатель LC₅₀ для интоксикации в течение 5 мин будет в 6 раз выше, чем при интоксикации в течение 30 мин (особенно губителен СО).

Международным сообществом принята более удобная мера, определяемая как функциональная экспоненциальная доза воздействия FED, характеризующая вклад отдельного компонента в общую токсичность (представляет собой сумму интегральных доз за данный период для каждого отдельного компонента), т.е.:

$$FED = \frac{\sum_i \left(\int_0^t C_i dt \right)}{[LC_{50}(i)]t} \quad (124)$$

где: C_i – концентрация i - го компонента;

t – время.

В рамках концепции N – Gas, если горение происходит одновременно на площадях A_1 , A_2 , A_3 и т.д., значение показателя токсичности вычисляется по зависимости:

$$FED = \frac{m_1 \times A_1}{LC_{50}(1)} + \frac{m_2 \times A_2}{LC_{50}(2)} + \frac{m_3 \times A_3}{LC_{50}(3)}, \quad (125)$$

где m_1 , m_2 , m_3 - массовые скорости выгорания 1,2 материалов в очаге пожара. кг/м² с.

Результаты испытаний представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Результаты исследования токсичности некоторых полимерных материалов

Параметр	Сосна Дугласа		Пенополи уретан		Поливинил хлорид	
	Время нагревания, мин	15	15	15	15	15
Площадь участка, см ²	19,4	67,7	19,4	19,4	2,4	2,4
Начальная масса образца, г	12,26	25,50	4,70	5,21	4,43	7,39
Потеря массы, %	90	84	90	89	90	90
Задержка зажигания, с	32	30	15	15	50	41
Продолжительность выгорания, с	350	510	285	285	205	235
Средняя концентрация						
O ₂ , %	16,7	13,7	18,3	18,4	19,6	18,7
CO ₂ , млн ⁻¹	39300	64400	22500	21200	10400	16500
CO, млн ⁻¹	2860	6220	1300	1740	1300	2800
HC ₁ , млн ⁻¹	-	-	-	-	1600	2200
	-	-	140	150	-	-
Концентрация дыма, г/м ³	55,1	106,8	21,1	23,2	19,9	33,2
Доля погибших животных	2/6	2/6	1/6	1/6	0/6	1/6
Всего	6/6	6/6	6/6	6/6	5/6	5/6
Параметр FED						
В ходе опыта	0,91	1,83	0,67	1,22	0,30	0,63
Всего	0,91	1,83	0,75	1,46	0,73	1,22
Выход: CO ₂ , г / г	1,45	1,28	1,91	0,077	1,04	0,083
CO, г / г	0,088	0,104	1,78	0,117	1,02	0,110
HC ₁ , г / г	-	-	-	-	0,116	0,093
HNC, г/г	-	-	0,0094	0,008	-	-
Показатель LC ₅₀ , г /см ³						
Входе опыта	56	56	-	22	-	26
Всего	56	56	-	22	-	26

Для оценки используются как первый, так 2 – й варианты и, в частности, – сгорание в чашечной печи (Cup Fumase }.

Литература

1. Брусенцев В.Ф. Расчет сил и средств тушения пожаров. – М.: Московский ГМИ, 1988. – 50 с.
2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение/Е.М.В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
3. Васильев П.П. Безопасность жизнедеятельности. Экология и охрана труда. Количественная оценка и примеры: Учеб. пособие для ВУЗов. - М.: ЮНИТИ ДАНА, 2003. - 188с.
4. ГОСТ Р 12.3.047 ССБТ Пожарная безопасность технологических процессов
5. Киселев Я.С. Физические модели горения в системе предупреждения пожаров/Я.С. Киселев. – СПб.: Издательство МВД России СПбУ, 2000 . – 348 с.
6. Киселев Я.С. Прогноз условий самовозгорания с кинетически неоднородными поверхностями. Учебное пособие/ Я.С. Киселев, О.А. Хорошилов и др. – СПб.: Издательство ГПС, 2003. – 282 с.
7. НПБ - 105 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности»
8. Качалов А.Г., Наумов В.В. Основы пожарной безопасности. – Мытищи.: Талант, 2003. – 184 с.
9. Калыгин В.Г. Безопасность жизнедеятельности. Промышленная и экологическая безопасность в техногенных чрезвычайных ситуациях/В.Г. Калыгин, В.А. Бондарь, Р.Я. Дедеян; под ред. В.Г. Калыгина. – М.: Химия, КолосС, 2006. – 520 с.
10. Михайлов Л.А. Пожарная безопасность: учебник для студ. высш. образования/Л.А. Михайлов, В.П. Соломин, О.Н. Русак и др./ под ред. Л.А. Михайлова. – 2- е изд. стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 255 с.
11. Правила пожарной безопасности (ППБ 01 - 03). – 2-е изд. – М.: ИНФРА, 2009. – 161 с..
12. Правила противопожарного режима в Российской Федерации в вопросах и

ответах: учебно – практическое пособие/авт – состав. С.С. Бодрухина. – М.: КНОРУС, 2013. – 120 с.

13.Собурь С.В. Пожарная безопасность предприятия. Справочник. – М.: Спецтехника, 2003. – 496 с.

14.СНиП П-2 – 80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

15.Христофоров Е.Н. Сборник примеров и задач по пожарной безопасности: Методические указания для выполнения практических занятий/Е.Н. Христофоров. – Брянск: издательство Брянская ГСХА, 2010. – 88 с.

Таблица 1 – Дисперсный состав продуктов переработки зерна

Продукт	Проход через сито с отверстиями		Остаток на сите с отверстиями	
	мкм	%	мкм	%
1	2	3	4	5
Мука пшеничная хлебопекарная				
Крупчатка	180	10	315	2
Высший сорт	-	-	140	5
Первый сорт	140	57	180	2
Второй сорт	160	60	250	2
Обойная	160	30	670	2
Мука ржаная хлебопекарная				
Сеяная	160	90	250	2
Обдирная	160	60	450	2
Обойная	160	30	670	2
Крупа манная разных марок				
Марки М	360	8	-	-
	160	2	2	-
Марки МТ	360	5	-	-
	160	1	-	-
Марки Т	360	5	-	-
	160	1	-	-
Пшеничная слоеная	1000	25	2500	2

Таблица 2 – Скорость витания и унос мелкодисперсного комбикормового сырья

Наименование продукта	Средний размер частиц, мкм	Насыпная плотность, г/см ³	Насыпная скорость витания м/с	Унос продукта, % скорости воздуха,		
				0,5	1,0	3,0
Отруби: пшеничные ржаные	900	0,35	2,1	2	12	95
	600	0,40	1,7	5	40	100
Мучка: ячменная гречневая гороховая	600	0,44	1,8	21	39	88
	1000	0,445	2,5	17	34	76
	560	0,57	1,2	48	66	97
Пшеница измельченная	1100	0,65	3,4	8	36	50
Ячмень измел.	1100	0,50	3,7	6	32	47
Горох измельч.	900	0,72	3,5	10	17	77
Овес измельч.	1160	0,38	2,6	17	29	82
Дрожжи: кормовые гидролизные	560	0,60	1,3	39	67	100
	200	0,61	0,9	58	82	100
Молоко сухое	140	0,58	1,2	28	70	100

Таблица 3 – Показатель пожароопасности (по данным ВНИИПО МВД)

Наименование продукта	Нижний КППР, г/м ³	Давление взрыва, Р _{МАХ} , кПа	V _{МАХ} нарастания, давления МПа/с	О, max, %	Макс. энерг. зажив. МДж	Q, кДж/кг
Ячмень (др) дробленый	47	645	11,4	12,3	-	17372
Кукуруза др.	37	652	6,9	11,5	-	17543
Отруби пшен.	55	483	6,2	11,8	-	17677
Дрожжи корм.	36	650	9,2	11,0	8,3	19087
Пшеница др.	38	524	14,2	12,8	-	17322
Горох др.	52	620	19,3	11,5	-	18292
Овес др.	54	650	4,67	12,0	-	19206
Просо др.	36	-	-	-	-	18972
Шпрот подсолнечный хлопковый соевый	40	532	9,4	11,3	8,9	18368
	42	547	4,07	12,5		21786
	49	673	12,5	16,0		18485
Мука ржаная, обдирная	78	540	11,0	11,5	13,3	
Мука пш. в/с	28,8	650	13,0	11,0	50,0	-
Сорго дробл.	36	575	8,0	19,5	17,2	-
Крахмал зерн.	40	770	-	10,0	30,0	-
Соя	35	700	17,2	15,0	40,0	-
Аэровзвеси зерн. и корм.	40	1200	8,0		3,0	

Таблица 4 – Физико – химические характеристики газов и показатели пожаровзрывоопасности их смесей с воздухом

Характеристики	Водород, H ₂	Метан, CH ₄	Окись угле- рода, CO
Молекулярный вес	2,016	16,04	28,01
Плотность, кг / м ³	0,0899	0,7166	1,250
Относительная плотность воздуха	0,0695	0,5543	0,967
Теплота сгорания, кДж / кг	120036	40865	10132
Температура самовоспламенения,	510	537	610
КПРП, % объема	4,0 – 75	5,0 – 15	12,5 – 74
Макс энергия зажигания, МДж	0,017	0,28	8,0
Температура горения в воздухе, °С	2072	1910	2000
Максимальное давление взрыва, кПа	739	720	730
Макс. скорость нарастания P, МПа /	75,79	18,1	13,75
Макс, нормальная скор, горения, м/с	2,67	0,338	0,45
Мин. флегматизирующая конц, % объема CO ₂	62	26	53
N ₂	76	39	69
Мин. взрывоопасное содержание O, % объема в среде: CO, N ₂	7,9 5,0	15,6 12,8	9,8 6,5

Таблица 5 – Температура воспламенения пыли в различном ее состоянии

Разновидность пыли	Температура воспламенения, °С	
	Аэрозоль	Аэрогель
Зерновая: ржаная пшеничная	430 – 500	305
	420 – 425	290
Мучная: ржаная пшеничная	410 – 470	205 – 325
	410 – 430	205 – 320
Ржаная мука (осевшая)	415 – 470	305
Пшеничная мука (то же)	410 – 470	290
Кукурузный крахмал (то же)	410 – 450	-

Таблица 6 – Вероятность возникновения баротравм в зависимости от избыточного давления

Избыточное давление, кПа	Вероятность баротравм. %
400	100
120	75
65	50
35	25
13	15
10	0

Таблица 7 – Срок непрерывного хранения сырья в бункерах и силосах

Наименование сырья	Срок хранения, сут.
Отруби и мучки	12 – 15
Жмыхи и шроты	8 – 11
Шрот подсолнечный	17 – 20
Мука мясокостная, мясная, кровяная, рыбная, дрожжи	8 – 10

Таблица 8 – Влажность, закладываемая на хранение шротов и жмыхов

Наименование сырья	Влажность, %
Шроты	
Кувкрузный, льняной	6,0 – 9,0
Конопляный	7,5 – 9,0
Подсолнечника	7,0 – 9,5
Подсолнечника с липидами	7,0 – 9,5
Соевый	8,5 – 10
Хлопковый	9,0
Хлопковый с липидами	9,0 – 10
Клещевинный кормовой	7,5 – 9,0
Жмыхи	
Подсолнечный	6,0 – 8,0
Хлопковый	8,5 – 9,0
Кунжутный, сафлоровый	6,0 – 10
Сурепный, рапсовый	6,0 – 9,0
Конопляный, арахисовый	6,0 – 8,0

Таблица 9 – Удельная теплота сгорания

Наименование продукта	Влажность, %	Скорость, %	Дисперсность, мкм	Q _н , кДж / кг
Ячмень дробленый	13,6	2,9	0 – 100	17,372
Кукуруза дробленая	15,2	5	0 – 100	17,543
Отруби пшеничные	12,8	2,9	0 – 100	17,677
Дрожжи кормовые	9,7	-	0 – 100	19,087
Пшеница дробленая	14	1,2	0 – 100	17,322
Горох дробленый	10,5	-	0 – 100	18,292
Шрот соевый	1,54	-	-	18,485
Шрот подсолнечный	9,8	-	-	18,368
Шрот хлопковый	-	-	-	17,594
Шрот соевый	-	-	-	18,889

Таблица 10 – Элементарный химический состав комбикормового сырья

Наименование продукта	Элементарный состав				
	С	Н	N	S	O
Ячмень дробленый	43,47	6,00	3,10	1,42	46,01
Кукуруза дробленая	43,50	5,40	2,60	1,35	47,15
Отруби пшеничные	43,60	7,00	3,43	1,25	44,72
Дрожжи кормовые	37,57	6,20	7,87	^ 5,77	44,58
Пшеница дробленая	46,98	6,95	3,66	1,30	41,11
Шрот соевый	42,96	6,57	6,95	1,20	42,32
Шрот подсолнечный	41,72	6,42	6,13	1,25	44,44
Шрот хлопковый	44,95	6,50	5,44	1,36	40,60
Шрот соевый	44,61	6,80	6,62	1,97	

Учебное издание

Христофоров Евгений Николаевич

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Учебное пособие

Редактор: Павлютина И.П.

Подписано к печати 2015 г. Формат 60×84. Бумага офсетная
Усл. п.л. 4,88. Тираж 100. Изд.3945.

Издательство Брянского государственного аграрного университета,
с. Кокино, Выгоничского района Брянской области