

Приложение 3 (обязательное). Метод определения вероятности возникновения пожара (взрыва) в пожаровзрывоопасном объекте

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Обязательное

Настоящий метод устанавливает порядок расчета вероятности возникновения пожара (взрыва) в объекте и изделии.

1. Сущность метода

1.1. Вероятность возникновения пожара (взрыва) в пожаровзрывоопасном объекте определяют на этапах его проектирования, строительства и эксплуатации.

1.2. Для расчета вероятности возникновения пожара (взрыва) на действующих или строящихся объектах необходимо располагать статистическими данными о времени существования различных пожаровзрывоопасных событий. Вероятность возникновения пожара (взрыва) в проектируемых объектах определяют на основе показателей надежности элементов объекта, позволяющих рассчитывать вероятность производственного оборудования*, систем контроля и управления, а также других устройств, составляющих объект, которые приводят к реализации различных пожаровзрывоопасных событий.

* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Под пожаровзрывоопасными понимают события, реализация которых приводит к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

1.3. Численные значения необходимых для расчетов вероятности возникновения пожара (взрыва) показателей надежности различных технологических аппаратов, систем управления, контроля, связи и тому подобных, используемых при проектировании объекта, или исходные данные для их расчета выбирают в соответствии с [ГОСТ 2.106](#), [ГОСТ 2.118](#), [ГОСТ 2.119](#), [ГОСТ 2.120](#), [ГОСТ 15.001](#)*, из нормативно-технической документации, стандартов и паспортов на элементы объекта. Необходимые сведения могут быть получены в результате сбора и обработки статистических данных об отказах анализируемых элементов в условиях эксплуатации.

* В Российской Федерации действует [ГОСТ Р 15.201-2000](#).

Сбор необходимых статистических данных проводят по единой программе, входящей в состав настоящего метода.

1.4. Пожаровзрывоопасность любого объекта определяется пожаровзрывоопасностью его составных частей (технологических аппаратов, установок, помещений). Вероятность возникновения пожара (взрыва) в объекте в течение года $Q_i(ПЗ)$ вычисляют по формуле

$$Q_i(ПЗ) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - Q_i(ПМ)], \quad (36)$$

где $Q_i(ПМ)$ - вероятность возникновения пожара в i -м помещении объекта в течение года;

n - количество помещений в объекте.

1.5. Возникновение пожара (взрыва) в любом из помещений объекта (событие $ПМ$) обусловлено возникновением пожара (взрыва) или в одном из технологических аппаратов, находящихся в этом помещении (событие $ПТА_j$), или непосредственно в объеме исследуемого помещения (событие $ПО_i$). Вероятность $Q_i(ПМ)$ вычисляют по формуле

$$Q_i(ПМ) = 1 - \left\{ \prod_{j=1}^m [1 - Q_j(ПТА)] \right\} \cdot [1 - Q_i(ПО)], \quad (37)$$

где $Q_j(ПТА)$ - вероятность возникновения пожара в j -м технологическом аппарате i -го помещения в течение года;

$Q_i(ПО)$ - вероятность возникновения пожара в объеме i -го помещения в течение года;

m - количество технологических аппаратов в i -м помещении.

1.6. Возникновение пожара (взрыва) в любом из технологических аппаратов (событие $ПТА_j$) или непосредственно в объеме помещения (событие $ПО_i$) обусловлено совместным образованием горючей среды (событие $ГС$) в рассматриваемом элементе объекта и появлением в этой среде источника зажигания (событие $ИЗ$). Вероятность ($Q_i(ПО)$) или ($Q_j(ПТА)$) возникновения пожара в рассматриваемом элементе объекта равна вероятности объединения (суммы) всех возможных попарных пересечений (произведений) случайных событий образования горючих сред и появления источников зажигания

$$Q_i(ПО) = Q_i \left[\bigcup_{k=1}^K \bigcup_{n=1}^N (ГС_k \cap ИЗ_n) \right], \quad (38)$$

где K - количество видов горючих веществ;

N - количество источников зажигания;

$ГC_k$ - событие образования k -й горючей среды;

$ИЗ_n$ - событие появления n -го источника зажигания;

\cap - специальный символ пересечения (произведения) событий;

\cup - специальный символ объединения (суммы) событий.

Вероятность ($Q_i(ИО)$) и ли ($Q_j(ИТА)$) вычисляют по аппроксимирующей формуле

$$Q_i(ИО) = 1 - \prod_{k=1}^K \prod_{n=1}^N [1 - Q_i \cdot (ГC_k) \cdot Q_i ИЗ_n / ГC_k], \quad (39)$$

где $Q_i(ГC_k)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта k -й горючей среды в течение года;

$Q_i(ИЗ_n / ГC_k)$ - условная вероятность появления в i -м элементе объекта n -го источника зажигания, способного воспламенить k -ю горючую среду.

2. Расчет вероятности образования горючей среды

2.1. Образование горючей среды (событие $ГC_k$) в рассматриваемом элементе объекта обусловлено совместным появлением в нем достаточного количества горючего вещества или материала (событие $ГB_l$) и окислителя (событие $ОK_m$) с учетом параметров состояния (температуры, давления и т.д.). Вероятность образования k -й горючей среды ($Q_i(ГC_k)$) для случая независимости событий $ГB_l$ и $ОK_m$ вычисляют по формуле

$$Q_i(ГC_k) = Q_i(ГB_l) \cdot Q_i(ОK_m), \quad k = l + 10(m - 1), \quad (40)$$

где $Q_i(ГB_l)$ - вероятность появления достаточного для образования горючей среды количества l -го горючего вещества в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(ОK_m)$ - вероятность появления достаточного для образования горючей среды количества m -го окислителя в i -м элементе объекта в течение года;

k, l, m - порядковые номера горючей среды, горючего вещества и окислителя.

2.2. Появление в рассматриваемом элементе объекта горючего вещества k -го вида является следствием реализации любой из α_n причин. Вероятность $Q_i(ГB_k)$ вычисляют по формуле

$$Q_i(ГB_k) = 1 - \prod_{n=1}^{\alpha} [1 - Q_i(\alpha_n)], \quad (41)$$

где $Q_i(\alpha_n)$ - вероятность реализации любой из α_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(\alpha_1)$ - вероятность постоянного присутствия в i -м элементе объекта горючего вещества k -го вида;

$Q_i(\alpha_2)$ - вероятность разгерметизации аппаратов или коммуникаций с горючим веществом, расположенных в i -м элементе объекта;

$Q_i(\alpha_3)$ - вероятность образования горючего вещества в результате химической реакции в i -м элементе объекта;

$Q_i(\alpha_4)$ - вероятность снижения концентрации флегматизатора в горючем газе, паре, жидкости или аэрозольной смеси i -го элемента объекта ниже минимально допустимой;

$Q_i(\alpha_5)$ - вероятность нарушения периодичности очистки i -го элемента объекта от горючих отходов, отложений пыли, пуха и т.д.;

z - количество α_n причин, характерных для i -го объекта;

n - порядковый номер причины.

2.3. На действующих и строящихся объектах вероятность ($Q_i(\alpha_n)$) реализации в i -м элементе объекта α_n причины, приводящей к появлению k -го горючего вещества, вычисляют на основе статистических данных о времени существования этой причины по формуле

$$Q_i(\alpha_n) = \frac{K_{\text{б}}}{\tau_{\text{п}}} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j, \quad (42)$$

где $K_{\text{б}}$ - коэффициент безопасности, определение которого изложено в разд.4;

$\tau_{\text{п}}$ - анализируемый период времени, мин;

m - количество реализаций α_n причины в i -м элементе объекта за анализируемый период времени;

τ_j - время существования α_n причины появления k -го вида горючего вещества при j -й реализации в течение анализируемого периода времени, мин.

Общие требования к программе сбора и обработки статистических данных изложены в разд.4.

2.4. В проектируемых элементах объекта вероятность ($Q_i(\alpha_n)$) вычисляют для периода нормальной эксплуатации элемента как вероятность отказа технических устройств (изделий), обеспечивающих невозможность реализации α_n причин, по формуле

$$Q_i(\alpha_n) = 1 - F_i(\alpha_n) = 1 - e^{-\lambda \tau}, \quad (43)$$

где $F_i(\alpha_n)$ - вероятность безотказной работы производственного оборудования (изделия), исключающего возможность реализации α_n причины;

λ - интенсивность отказов производственного оборудования (изделия), исключающего возможность реализации α_n причины, ч⁻¹;

τ - общее время работы оборудования (изделия) за анализируемый период времени, ч.

2.5. Данные о надежности оборудования (изделия) приведены в нормативно-технических документах, стандартах и паспортах. Интенсивность отказов элементов, приборов и аппаратов приведена в разд.5.

2.6. При отсутствии сведений о параметрах надежности анализируемого оборудования (изделия) последние определяют расчетным путем на основе статистических данных об отказах этого оборудования (изделия).

2.7. Появление в i -м элементе объекта k -го вида окислителя является следствием реализации любой из b_n причин.

Вероятность ($Q_i(ОK_k)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(ОK_k) = 1 - \prod_{n=1}^{\beta} [1 - Q_i(b_n)], \quad (44)$$

где $Q_i(b_n)$ - вероятность реализации любой из b_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(b_1)$ - вероятность того, что концентрация окислителя, подаваемого в смесь i -го элемента объекта, больше допустимой по горючести;

$Q_i(b_2)$ - вероятность подсоса окислителя в i -й момент с горючим веществом;

$Q_i(b_3)$ - вероятность постоянного присутствия окислителя в i -м элементе объекта;

$Q_i(b_4)$ - вероятность вскрытия i -го элемента объекта с горючим веществом без предварительного пропаривания (продувки инертным газом);

z - количество b_n причин, характерных для i -го элемента объекта;

n - порядковый номер причины.

2.8. Вероятности ($Q_i(b_n)$) реализации событий, обуславливающих возможность появления окислителя k -го вида в опасном количестве, вычисляют для проектируемых элементов по формуле (43), а для строящихся и действующих элементов по формуле (42).

2.9. Вероятность ($Q_i(b_2)$) подсоса окислителя в аппарат с горючим веществом вычисляют как вероятность совместной реализации двух событий: нахождение аппарата под разрежением (событие S_1) и разгерметизации аппарата (событие S_2) по формуле

$$Q_i(b_2) = Q_i(S_1) \cdot Q_i(S_2). \quad (45)$$

2.10. Вероятность ($Q_i(S_1)$) нахождения i -го элемента объекта под разрежением в общем случае вычисляют по формуле (42), принимают равной единице, если элемент во время работы находится под разрежением, и 0,5, если элемент с равной периодичностью находится под разрежением и давлением.

2.11. Вероятность ($Q_i(S_2)$) разгерметизации i -го элемента на разных стадиях его разработки и эксплуатации вычисляют по формулам (42 и 43).

2.12. При расчете вероятности образования в проектируемом элементе объекта горючей среды ($Q_i(TC)$), нарушения режимного характера не учитывают.

2.13. При необходимости учитывают и иные события, приводящие к образованию горючей среды.

3. Расчет вероятности появления источника зажигания (инициирования взрыва)

3.1. Появление n -го источника зажигания (инициирования взрыва) в анализируемом элементе объекта (событие IS_n) обусловлено появлением в нем n -го энергетического (теплового) источника (событие TI_n) с параметрами, достаточными для воспламенения k -й горючей среды (событие B_n^k). Вероятность ($Q_i(IS_n / TC_k)$) появления n -го источника зажигания в i -м элементе объекта вычисляют по формуле

$$Q_i(IS_n / TC_k) = Q_i(TI_n) \cdot Q_i(B_n^k), \quad (46)$$

где $Q_i(TI_n)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта в течение года n -го энергетического (теплового) источника;

$Q_i(B_n^k)$ - условная вероятность того, что воспламеняющая способность появившегося в i -м элементе объекта n -го энергетического (теплового) источника достаточна для зажигания k -й горючей среды, находящейся в этом элементе.

3.1.1. Разряд атмосферного электричества в анализируемом элементе объекта возможен или при поражении объекта молнией (событие C_1), или при вторичном ее воздействии (событие C_2), или при заносе в него высокого потенциала (событие C_3).

Вероятность ($Q_i(TI_n)$) разряда атмосферного электричества в i -м элементе объекта вычисляют по формуле

$$Q_i(TI_n) = 1 - \prod_{n=1}^3 [1 - Q_i(C_n)], \quad (47)$$

где $Q_i(C_n)$ - вероятность реализации любой из C_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(C_1)$ - вероятность поражения i -го элемента объекта молнией в течение года;

$Q_i(C_2)$ - вероятность вторичного воздействия молнии на i -й элемент объекта в течение года;

$Q_i(C_3)$ - вероятность заноса в i -й элемент объекта высокого потенциала в течение года;

n - порядковый номер причины.

3.1.2. Поражение i -го элемента объекта молнией возможно при совместной реализации двух событий - прямого удара молнии (событие t_2) и отсутствия неисправности, неправильного конструктивного исполнения или отказа молниеотвода (событие t_1). Вероятность ($Q_i(C_1)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(C_1) = Q_i(t_1) \cdot Q_i(t_2), \quad (48)$$

где $Q_i(t_1)$ - вероятность отсутствия неисправности, неправильного конструктивного исполнения или отказа молниеотвода, защищающего i -й элемент объекта;

$Q_i(t_2)$ - вероятность прямого удара молнии в i -й элемент объекта в течение года.

3.1.3. Вероятность ($Q_i(t_2)$) прямого удара молнии в объект вычисляют по формуле

$$Q_i(t_2) = 1 - e^{-N_{y.m} \tau_p}, \quad (49)$$

где $N_{y.m}$ - число прямых ударов молнии в объект за год;

τ_p - продолжительность периода наблюдения, год.

Для объектов прямоугольной формы

$$N_{y.m} = (S + 6H) \cdot (L + 6H) \cdot n_y \cdot 10^{-6}. \quad (50)$$

Для круглых объектов

$$N_{y.m} = (2R + 6H)^2 \cdot n_y \cdot 10^{-6}, \quad (51)$$

где S - длина объекта, м;

L - ширина объекта, м;

H - наибольшая высота объекта, м;

R - радиус объекта, м;

n_y - среднее число ударов молнии на 1 км² земной поверхности выбирают из табл.3.

Таблица 3

Продолжительность грозовой деятельности за год, ч	20-40	40-60	60-80	80-100 и более
Среднее число ударов молнии в год на 1 км ²	3	6	9	12

3.1.4. Вероятность ($Q_i(t_1)$) принимают равной единице в случае отсутствия молниезащиты на объекте или наличия ошибок при ее проектировании и изготовлении.

Выводом о соответствии основных параметров молниеотвода требованиям, предъявляемым к молниезащите объектов 1, 2 и 3-й категорий, делают на основании результатов проверочного расчета и детального обследования молниеотвода. Основные требования к молниеотводам объектов 1, 2 и 3-й категорий приведены в СН-305. При наличии молниезащиты вероятность ($Q_i(t_1)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(t_1) = \frac{K_\beta}{\tau_p} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j + (1 - \beta), \quad (52)$$

где K_β - коэффициент безопасности, определение которого изложено в разд.4;

τ_p - анализируемый период времени, мин;

τ_j - время существования неисправности молниеотвода при j -й ее реализации в течение года, мин;

m - количество неисправных состояний молниезащиты;

β - вероятность безотказной работы молниезащиты

($\beta = 0,995$ при наличии молниезащиты типа А и $\beta = 0,95$ при наличии молниезащиты типа Б).

Для проектируемых объектов вероятность ошибки при проектировании молниезащиты не рассматривают.

При расчете $Q_i(t_1)$ существующей молниезащиты нарушение периодичности проверки сопротивления заземлителей (один раз в два года) рассматривают как нахождение молниезащиты в неисправном состоянии. Время существования этой неисправности определяют как продолжительность периода между запланированным и фактическим сроками проверки.

3.1.5. Вероятность ($Q_i(C_2)$) вторичного воздействия молнии на объект вычисляют по формуле

$$Q_i(C_2) = Q_i(t_2) \cdot Q_i(t_3), \quad (53)$$

где $Q_i(t_3)$ - вероятность отказа защитного заземления в течение года.

3.1.6. Вероятность ($Q_i(t_3)$) при отсутствии защитного заземления или перемычек в местах сближения металлических коммуникаций принимают равной единице. Вероятность ($Q_i(t_3)$) неисправности существующей системы защиты от вторичных воздействий молнии определяют на основании результатов ее обследования аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (42).

Для проектируемых объектов вероятность отказа неисправности защитного заземления не рассчитывается, а принимается равной единице или нулю в зависимости от ее наличия в проекте.

3.1.7. Вероятность ($Q_i(C_3)$) заноса высокого потенциала в защищаемый объект вычисляют аналогично вероятности ($Q_i(C_2)$) по (53).

3.1.8. Вероятность $Q_i(t_2)$ при расчете ($Q_i(C_2)$) и ($Q_i(C_3)$) вычисляют по формуле (49), причем значения параметров S и L в формулах (50 и 51) необходимо увеличить на 100 м.

3.1.9. Электрическая искра (дуга) может появиться в анализируемом элементе объекта (событие TH_n) при коротком замыкании электропроводки (событие e_1), при проведении электросварочных работ (событие e_2), при искрении электрооборудования, не соответствующего по исполнению категории и группе горючей среды, находящейся в этом элементе (событие e_3), при разрядах статического электричества (событие e_4).

Вероятность ($Q_i(TH_n)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(TH_n) = 1 - \prod_{n=1}^z [1 - Q_i(e_n)] \quad (54)$$

где $Q_i(e_n)$ - вероятность реализации любой из e_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(e_1)$ - вероятность появления искр короткого замыкания электропроводки в i -м элементе в течение года;

$Q_i(e_2)$ - вероятность проведения электросварочных работ в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(e_3)$ - вероятность несоответствия электрооборудования i -го элемента объекта категории и группе горючей среды в течение года;

$Q_i(e_4)$ - вероятность возникновения в i -м элементе объекта разрядов статического электричества в течение года;

z - количество e_n причин;

n - порядковый номер причины.

3.1.10. Вероятность ($Q_i(e_1)$) появления в i -м элементе объекта искр короткого замыкания вычисляют только для действующих и строящихся элементов объектов по формуле

$$Q_i(e_1) = Q_i(v_1) \cdot Q_i(v_2) \cdot Q_i(z) \quad (55)$$

где $Q_i(v_1)$ - вероятность возникновения короткого замыкания электропроводки в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(v_2)$ - вероятность того, что значение электрического тока в i -м элементе объекта лежит в диапазоне пожароопасных значений;

$Q_i(z)$ - вероятность отсутствия или отказа аппаратов защиты от короткого замыкания в течение года, определяющаяся по п.3.1.30.

3.1.11. Вероятность ($Q_i(v_1)$) короткого замыкания электропроводки на действующих и строящихся объектах вычисляют на основании статистических данных по формуле (42).

3.1.12. Вероятность ($Q_i(v_2)$) нахождения электрического тока в диапазоне пожароопасных значений вычисляют по формуле

$$Q_i(v_2) = \frac{I_2 - I_1}{I_{кз} - I_0} \quad (56)$$

где $I_{кз}$ - максимальное установившееся значение тока короткого замыкания в кабеле или проводе;

I_0 - длительно допустимый ток для кабеля или провода;

I_1 - минимальное пожароопасное значение тока, протекающего по кабелю или проводу;

I_2 - максимальное пожароопасное значение тока, протекающего по кабелю; если I_2 больше $I_{кз}$, то принимают $I_2 = I_{кз}$.

Значения токов I_1 и I_2 определяют экспериментально. Для кабелей и проводов с поливинилхлоридной изоляцией $I_1 = 2,5 I_0$, а значение $I_2 = 21 I_0$ и $18 I_0$ для кабеля и провода соответственно. В отсутствие данных по I_1 и I_2 вероятность ($Q_i(v_2)$) принимают равной 1.

3.1.13. Вероятность ($Q_i(e_2)$) проведения в i -м элементе объекта электросварочных работ вычисляют только для действующих и строящихся элементов объекта на основе статистических данных по формуле (42).

3.1.14. Вероятность ($Q_i(e_3)$) при непрерывной работе электрооборудования принимают на всех объектах равной единице, если электрооборудование не соответствует категории и группе горючей смеси, или 10^{-8} - если соответствует. При периодической работе электрооборудования и его несоответствии категории и группе горючей среды вероятность ($Q_i(e_3)$) вычисляют аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (42). Если электрическая искра появляется лишь при включении и выключении электрооборудования, не соответствующего категории и группе горючей среды (при n включениях и выключениях), то вероятность ($Q_i(e_3)$) вычисляют аналогично вероятности ($Q_i(t_2)$) по формуле (49). В случае соответствия электрооборудования горючей среде, вычисленное по формуле (49) значение вероятности ($Q_i(e_3)$) умножают на 10^{-8} .

3.1.15. Вероятность ($Q_i(e_4)$) появления в i -м элементе объекта искр статического электричества вычисляют по формуле

$$Q_i(e_4) = Q_i(X_1) \cdot Q_i(X_2) \quad (57)$$

где $Q_i(X_1)$ - вероятность появления в i -м элементе условий для статической электризации в течение года;

$Q_i(X_2)$ - вероятность наличия неисправности, отсутствия или неэффективности средств защиты от статического электричества в течение года.

3.1.16. Вероятность ($Q_i(X_1)$) принимают равной единице, если в i -м элементе объекта применяют и выбирают вещества с удельным объемным электрическим сопротивлением, превышающим 10^5 Ом·м. В остальных случаях ($Q_i(X_1)$) принимают равной нулю.

3.1.17. Вероятность ($Q_i(X_2)$) принимают равной единице при отсутствии или неэффективности средств защиты от статического электричества. Вероятность ($Q_i(X_2)$) неисправности средств защиты в действующих элементах вычисляют на основании статистических данных аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (42).

Вероятность ($Q_i(X_2)$) в проектируемых элементах объекта вычисляют аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (43) на основании данных о надежности проектируемых средств защиты от статического электричества (например средств ионизации или увлажнения воздуха и т.п.).

3.1.18. Фрикционные искры (искры удара и трения) появляются в анализируемом элементе объекта (событие TH_n) при применении искроопасного инструмента (событие f_1), при разрушении движущихся узлов и деталей (событие f_2), при применении рабочими обуви, подбитой металлическими набойками и гвоздями (событие f_3), при попадании в движущиеся механизмы посторонних предметов (событие f_4) и т.д., при ударе крышки металлического люка (событие f_5). Вероятность ($Q_i(TH_n)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(TH_n) = 1 - \prod_{n=1}^z [1 - Q_i(f_n)] \quad (58)$$

где $Q_i(f_n)$ - вероятность реализации любой из f_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(f_1)$ - вероятность применения в i -м элементе объекта металлического, шлифовального и другого искроопасного инструмента в течение года;

$Q_i(f_2)$ - вероятность разрушения движущихся узлов и деталей i -го элемента объекта в течение года;

$Q_i(f_3)$ - вероятность использования рабочими обуви, подбитой металлическими набойками и гвоздями, в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(f_4)$ - вероятность попадания в движущиеся механизмы i -го элемента объекта посторонних предметов в течение года;

$Q_i(f_5)$ - вероятность удара крышки металлического люка в i -м элементе объекта в течение года;

n - порядковый номер причины;

z - количество f_n причин.

3.1.19. Вероятность ($Q_i(f_1)$) вычисляют только для действующих и строящихся элементов объекта на основании статистических данных аналогично вероятностям ($Q_i(a_n)$) и ($Q_i(f_2)$) по формулам (42 или 49).

3.1.20. Вероятность ($Q_i(f_2)$) для действующих и строящихся элементов объекта вычисляют на основании статистических данных аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (43).

Для проектируемых элементов объекта вероятность ($Q_i(f_2)$) вычисляют аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (43) на основании параметров надежности составных частей.

3.1.21. Вероятность ($Q_i(f_3)$) и ($Q_i(f_5)$) вычисляют только для действующих и строящихся элементов объекта аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (42).

3.1.22. Вероятность ($Q_i(f_4)$) вычисляют для действующих и строящихся элементов объекта на основании статистических данных аналогично вероятности ($Q_i(a_n)$) по формуле (42), а для проектируемых элементов по формуле (43), как вероятность отказа защитных средств.

3.1.23. Открытое пламя и искры появляются в i -м элементе объекта (событие TH_n) при реализации любой из причин h_n . Вероятность ($Q_i(TH_n)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(TH_n) = 1 - \prod_{n=1}^z [1 - Q_i(h_n)], \quad (59)$$

где $Q_i(h_n)$ - вероятность реализации любой из h_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(h_1)$ - вероятность сжигания топлива в печах i -го элемента объекта в течение года;

$Q_i(h_2)$ - вероятность проведения газосварочных и других огневых работ в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(h_3)$ - вероятность несоблюдения режима курения в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(h_4)$ - вероятность отсутствия или неисправности искрогасителей на двигателях внутреннего сгорания, расположенных в i -м элементе объекта, в течение года;

$Q_i(h_5)$ - вероятность использования рабочими спичек, зажигалок или горелок в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(h_6)$ - вероятность выбросов нагретого газа из технического оборудования в i -м элементе объекта в течение года;

z - количество причин;

n - порядковый номер причины.

3.1.24. Вероятность ($Q_i(h_1)$) вычисляют для всех элементов объекта по формуле

$$Q_i(h_1) = \frac{K_6}{\tau_p} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j, \quad (60)$$

где K_6 - коэффициент безопасности, определение которого изложено в разд.4;

τ_p - анализируемый период времени, мин;

m - количество включений печи в течение анализируемого периода времени;

τ_j - время работы печи j -го элемента объекта при j -м ее включении в течение анализируемого периода времени, мин.

3.1.25. Вероятности ($Q_i(h_2)$), ($Q_i(h_3)$), ($Q_i(h_4)$), ($Q_i(h_5)$) и ($Q_i(h_6)$) вычисляют только для действующих и строящихся объектов на основе статистических данных аналогично вероятности по формуле (60).

3.1.26. Нагрев вещества, отдельных узлов и поверхностей технологического оборудования i -го элемента объекта, контактирующих с горючей средой, выше допустимой температуры (событие TH_n) возможен при реализации любой из K_n причин. Вероятность вычисляют по формуле

$$Q_i(TH_n) = 1 - \prod_{n=1}^z [1 - Q_i(K_n)], \quad (61)$$

где $Q_i(K_n)$ - вероятность реализации любой из K_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(K_1)$ - вероятность нагрева горючего вещества или поверхности оборудования i -го элемента объекта при возникновении перегрузки электросети, машины и аппаратов в течение года;

$Q_i(K_2)$ - вероятность отказа системы охлаждения аппарата i -го элемента объекта в течение года;

$Q_i(K_3)$ - вероятность нагрева поверхностей и горючих веществ при возникновении повышенных переходных сопротивлений электрических соединений i -го элемента объекта в течение года;

$Q_i(K_4)$ - вероятность использования электронагревательных приборов в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(K_5)$ - вероятность нагрева поверхностей при трении в подшипниках в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(K_6)$ - вероятность разогрева от трения транспортных лент и приводных ремней в i -м элементе в течение года;

$Q_i(K_7)$ - вероятность нагрева поверхностей инструмента и материалов при обработке в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(K_8)$ - вероятность нагрева горючих веществ в i -м элементе объекта до опасных температур по условиям технологического процесса в течение года.

3.1.27. Перегрузка электрических коммуникаций, машин и аппаратов (событие K_1) возможна при неисправности или несоответствии аппаратов защиты электрических сетей, а также при реализации любой из причин y_m .

Вероятность ($Q_i(K_1)$) вычисляют по формуле

$$Q_i(K_1) = \left\{ 1 - \prod_{m=1}^z [1 - Q_i(y_m)] \right\} \cdot Q_i(z), \quad (62)$$

где $Q_i(y_m)$ - вероятность реализации любой из y_m причин, приведенных ниже;

$Q_i(y_1)$ - вероятность несоответствия сечения электропроводников нагрузке электроприемников в i -м элементе в течение года;

$Q_i(y_2)$ - вероятность подключения дополнительных электроприемников в i -м элементе объекта в электропроводке, не рассчитанной на эту нагрузку;

$Q_i(y_3)$ - вероятность увеличения момента на валу электродвигателя в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(y_4)$ - вероятность повышения напряжения в сети i -го элемента объекта в течение года;

$Q_i(y_5)$ - вероятность отключения фазы (двухфазный режим работы в установках трехфазного тока) в сети i -го элемента объекта в течение года;

$Q_i(y_6)$ - вероятность уменьшения сопротивления электроприемников в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_i(z)$ - вероятность отсутствия неисправности или несоответствия аппаратов защиты электрических систем i -го элемента объекта от перегрузки в течение года.

3.1.28. Вероятности $(Q_i(y_1)), (Q_i(y_2)), (Q_i(y_4)), (Q_i(y_5)), (Q_i(y_6))$ вычисляют только для действующих и строящихся объектов аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60).

3.1.29. Вероятность $(Q_i(y_3))$ вычисляют для действующих и строящихся объектов аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60), а для проектируемых объектов аналогично вероятности $(Q_i(a_n))$ по формуле (43), как вероятность заклинивания механизмов, приводимых в действие электродвигателем.

3.1.30. Вероятность $(Q_i(z))$ вычисляют для действующих элементов объекта аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60), для проектируемых элементов при отсутствии аппаратов защиты принимают равной единице, а при их наличии вычисляют аналогично вероятности $(Q_i(a_n))$ по формуле (43).

3.1.31. Вероятности $(Q_i(K_2))$ вычисляют для проектируемых элементов объекта аналогично вероятности $(Q_i(a_n))$ по формуле (43) как вероятность отказа устройств, обеспечивающих охлаждение аппарата, а для строящихся и действующих элементов аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60).

3.1.32. Вероятность $(Q_i(K_3)), (Q_i(K_4))$ и $(Q_i(K_6))$ вычисляют только для действующих и строящихся объектов аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60).

3.1.33. Вероятность $(Q_i(K_5))$ и $(Q_i(K_7))$ вычисляют для проектируемых элементов объекта аналогично вероятности $(Q_i(a_n))$ по формуле (43), как вероятность отказа системы смазки механизмов i -го элемента, а для строящихся и действующих элементов аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60).

3.1.34. Вероятность $(Q_i(K_8))$ принимают равной единице, если в соответствии с технологической необходимостью происходит нагрев горючих веществ до опасных температур, или нулю, если такой процесс не происходит.

Вероятность $(Q_i(MH_n))$ появления в горючем веществе или материале очагов экзотермического окисления или разложения, приводящих к самовозгоранию, вычисляют по формуле

$$Q_i(MH_n) = 1 - \prod_{n=1}^3 [1 - Q_i(m_n)], \quad (63)$$

где $Q_i(m_n)$ - вероятность реализации любой из m_n причин, приведенных ниже;

$Q_i(m_1)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта очага теплового самовозгорания в течение года;

$Q_i(m_2)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта очага химического возгорания в течение года;

$Q_i(m_3)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта очага микробиологического самовозгорания в течение года.

3.1.35. Вероятность $(Q_i(m_1))$ вычисляют для всех элементов объекта по формуле

$$Q_i(m_1) = Q_i(R_1) \cdot Q_i(B_2), \quad (64)$$

где $Q_i(R_1)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта в течение года веществ, склонных к тепловому самовозгоранию;

$Q_i(B_2)$ - вероятность нагрева веществ, склонных к самовозгоранию, выше безопасной температуры.

3.1.36. Вероятность $(Q_i(R_1))$ вычисляют для всех элементов объекта по формулам (60 или 43).

3.1.37. Вероятность $(Q_i(B_2))$ принимают равной единице, если температура среды, в которой находится это вещество, выше или равна безопасной температуре или нулю, если температура среды ниже ее.

Безопасную температуру среды для веществ, склонных к тепловому самовозгоранию (t_G) , °С, вычисляют по формуле

$$t_G = 0,7t_c, \quad (65)$$

где t_c - температура самовозгорания вещества, вычисляемая по п.5.1.6, °С.

3.1.38. Вероятность $(Q_i(m_2))$ вычисляют для всех элементов объекта по формуле

$$Q_i(m_2) = Q_i(g_1) \cdot Q_i(g_2), \quad (66)$$

где $Q_i(g_1)$ - вероятность появления в i -м элементе объекта химически активных веществ, реагирующих между собой с выделением большого количества тепла, в течение года;

$Q_i(g_2)$ - вероятность контакта химически активных веществ в течение года.

3.1.39. Вероятности $(Q_i(g_1))$ и $(Q_i(g_2))$ вычисляют аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60), если реализация событий g_1 и g_2 обусловлена технологическими условиями или мероприятиями организационного характера и вычисляют аналогично вероятности $Q_i(a_n)$ по формуле (43), если эти события зависят от надежности оборудования.

3.1.40. Вероятность $(Q_i(m_3))$ рассчитывают для действующих и строящихся объектов аналогично вероятности $(Q_i(h_1))$ по формуле (60).

3.2. Вероятность $(Q_i(B_n^k))$ того, что воспламеняющаяся способность появившегося в i -м элементе объекта n -го энергетического (теплового) источника достаточна для зажигания k -й горючей среды, находящейся в этом элементе, определяется экспериментально или сравнением параметров энергетического (теплового) источника с соответствующими показателями пожарной опасности горючей среды.

3.2.1. Если данные для определения $(Q_i(B_n^k))$ отсутствуют или их достаточность вызывает сомнение, то значение вероятности $(Q_i(B_n^k))$ принимают равным 1.

3.2.2. Вероятность $(Q_i(B_n^k))$ принимают равной нулю в следующих случаях:

если источник не способен нагреть вещество выше 80% значения температуры самовоспламенения вещества или температуры самовозгорания вещества, имеющего склонность к тепловому самовозгоранию;

если энергия, переданная тепловым источником горючему веществу (паро-, газо-, пылевоздушной смеси) ниже 40% минимальной энергии зажигания;

если за время остывания теплового источника он не способен нагреть горючие вещества выше температуры воспламенения;

если время воздействия теплового источника меньше суммы периода индукции горючей среды и времени нагрева локального объема этой среды от начальной температуры до температуры воспламенения.

3.3. Данные о пожароопасных параметрах источников зажигания приведены в разд.5.

3.4. При обосновании невозможности расчета вероятности появления источника зажигания в рассматриваемом элементе объекта с учетом конкретных условий его эксплуатации допускается вычислять этот параметр по формуле

$$Q_i(MZ) = 1 - e^{-(\tau/\tau_{н.з})}, \quad (67)$$

где τ - время работы i -го элемента объекта за анализируемый период времени, ч;

$\tau_{н.з} = 3,03 \cdot 10^4 E_0^{1,2}$ - среднее время работы i -го элемента объекта до появления одного источника зажигания, ч (E_0 - минимальная энергия зажигания горючей среды i -го элемента объекта, Дж).

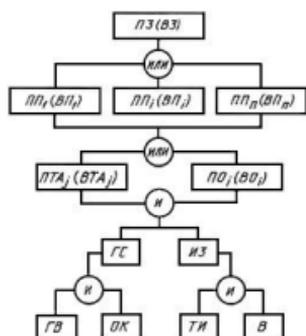
3.5. При необходимости учитывают и иные события, приводящие к появлению источника зажигания.

4. Общие требования к программе сбора и обработки статистических данных

4.1. Программу сбора статистических данных разрабатывают для действующих, строящихся и проектируемых объектов на основе анализа пожарной опасности помещений и технологического оборудования.

4.2. Анализ пожарной опасности проводят отдельно по каждому технологическому аппарату, помещению и заканчивают разработкой структурной схемы причинно-следственной связи пожаровзрывоопасных событий, необходимых и достаточных для возникновения пожара (взрыва) в объекте (далее - модель возникновения пожара). Общий вид структурной схемы возникновения пожара в здании показан на черт.2.

Черт.2. Общий вид структурной схемы возникновения пожара в здании показан



Черт.2

4.3. Статистические данные о времени существования пожаровзрывоопасных событий на действующих и строящихся объектах и времени безотказной работы различных изделий проектируемых объектов собирают только по событиям конечного уровня, приведенным на модели возникновения пожара, для которых в методе отсутствуют аналитические зависимости.

4.4. На основании модели возникновения пожара по каждому элементу объекта разрабатывают формы сбора статистической информации о причинах, реализация которых может привести к возникновению пожара (взрыва).

4.5. Статистическую информацию, необходимую для расчета параметров надежности различных изделий, используемых в проектом решении, собирает проектная организация на действующих объектах. При этом для наблюдения выбирают изделия, работающие в период нормальной эксплуатации и в условиях, идентичных тем, в которых будет эксплуатироваться проектируемое изделие.

4.6. В качестве источников информации о работоспособности технологического оборудования используют:

журналы старшего машиниста;

старшего аппаратчика;
начальника смены;
учета пробега оборудования;

дефектов;

ремонтные карты;

ежемесячные (ежеквартальные) технические отчеты;

отчеты ремонтных служб;
график планово-предупредительных ремонтов;
ежемесячные отчеты об использовании оборудования;

справочные и паспортные данные о надежности различных элементов.

4.7. Источниками информации о нарушении противопожарного режима в помещениях, неисправности средств тушения, связи и сигнализации являются:

книга службы объектовой пожарной части МВД СССР;
журнал дополнительных мероприятий по охране объекта (для объектов, охраняемых пожарной охраной МВД СССР);

журнал наблюдения за противопожарным состоянием объекта (для объектов, охраняемых пожарной охраной МВД СССР);
журнал осмотра складов, лабораторий и других помещений перед их закрытием по окончании работы;

предписания Государственного пожарного надзора МВД СССР;

акты пожарно-технических комиссий о проверке противопожарного состояния объектов;

акты о нарушении правил пожарной безопасности органов Государственного пожарного надзора МВД СССР.

4.8. При разработке форм сбора и обработки статистической информации используют:

наставление по организации профилактической работы на объектах, охраняемых военизированной и профессиональной пожарной охраной МВД СССР;
устав службы пожарной охраны МВД СССР;
форму, приведенную в табл.4.

Таблица 4

Наименование анализируемого элемента объекта	Анализируемое событие (причина)		Порядковый номер реализации события (причины)	Дата и время		Время τ_j существования события (причины), мин	Общее время (τ) работы i -го элемента объекта, мин
	Наименование	Обозначение		обнаружения (возникновения) причины	устранения (исчезновения) причины		
Компрессор первого каскада	Разрушение узлов деталей поршневой группы	f_2	1	01.03.84 10-35	01.03.84 10-40	5	18-10 ⁴
			2	10.04.84 15-17	10.04.84 15-21	4	
			3	21.05.84 12-54	21.05.84 12-59	5	
			4	17.12.84 01-12	17.12.84 01-15	3	

4.9. На основании собранных данных вычисляют коэффициент безопасности K_G в следующей последовательности.

4.9.1. Вычисляют среднее время существования пожаровзрывоопасного события (τ_0) (среднее время нахождения в отказе) по формуле

$$\tau_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \tau_j, \quad (68)$$

где τ_j - время существования j -го пожаровзрывоопасного события, мин;
 m - общее количество событий (изделий);
 j - порядковый номер события (изделия).

4.9.2. Точечную оценку дисперсии (D_0) среднего времени существования пожаровзрывоопасного события вычисляют по формуле

$$D_0 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\tau_j - \tau_0)^2. \quad (69)$$

4.9.3. Среднее квадратическое отклонение (σ_{τ_0}) точечной оценки среднего времени существования события - τ_0 вычисляют по формуле

$$\sigma_{\tau_0} \sqrt{D_0} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\tau_j - \tau_0)^2}. \quad (70)^*$$

* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

4.9.4. Из табл.5 выбирают значение коэффициента t_β в зависимости от числа степеней свободы ($m-1$) при доверительной вероятности $\beta = 0,95$.

Таблица 5

$m-1$	1	2	От 3 до 5	От 6 до 10	От 11 до 20	20
t_β	12,71	4,30	3,18	2,45	2,20	2,09

4.9.5. Коэффициент безопасности (K_G) (коэффициент, учитывающий отклонение значения параметра τ_0 , вычисленного по формуле (68), от его истинного значения) вычисляют из формулы

$$K_G = 1 + \frac{t_\beta \sigma_{\tau_0}}{\tau_0}. \quad (71)$$

4.9.6. При реализации в течение года только одного события коэффициент безопасности принимают равным единице.

5. Определение пожароопасных параметров тепловых источников интенсивности отказов элементов

5.1. Пожароопасные параметры тепловых источников

5.1.1. Разряд атмосферного электричества

5.1.1.1. Прямой удар молнии

Опасность прямого удара молнии заключается в контакте горючей среды с каналом молнии, температура в котором достигает 30000 °С при силе тока 200000 А и времени действия около 100 мкс. От прямого удара молнии воспламеняются все горючие среды.

5.1.1.2. Вторичное воздействие молнии

Опасность вторичного воздействия молнии заключается в искровых разрядах, возникающих в результате индукционного и электромагнитного воздействия атмосферного электричества на производственное оборудование, трубопроводы и строительные конструкции. Энергия искрового разряда превышает 250 мДж и достаточна для воспламенения горючих веществ с минимальной энергией зажигания до 0,25 Дж.

5.1.1.3. Занос высокого потенциала

Занос высокого потенциала в здание происходит по металлическим коммуникациям не только при их прямом поражении молнией, но и при расположении коммуникаций в непосредственной близости от молниеотвода. При соблюдении безопасных расстояний между молниеотводами и коммуникациями энергия возможных искровых разрядов достигает значений 100 Дж и более, то есть достаточна для воспламенения всех горючих веществ.

5.1.2. Электрическая искра (дуга)

5.1.2.1. Термическое действие токов короткого замыкания

Температуру проводника ($t_{\text{пр}}$), °С, нагреваемого током короткого замыкания, вычисляют по формуле

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{к}} + \frac{I_{\text{кз}}^2 \cdot R \cdot \tau_{\text{кз}}}{C_{\text{пр}} \cdot m_{\text{пр}}}, \quad (72)$$

где $t_{\text{к}}$ - начальная температура проводника, °С;

$I_{\text{кз}}$ - ток короткого замыкания, А;

R - сопротивление проводника, Ом;

$\tau_{\text{кз}}$ - время короткого замыкания, с;

$C_{\text{пр}}$ - теплоемкость проводника, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

$m_{\text{пр}}$ - масса проводника, кг.

Воспламеняемость кабеля и проводника с изоляцией зависит от значения кратности тока короткого замыкания $I_{\text{кз}}$, т.е. от значения отношения $I_{\text{кз}}$ к длительно допустимому току кабеля или провода. Если эта кратность больше 2,5, но меньше 18 для кабеля и 21 для провода, то происходит воспламенение поливинилхлоридной изоляции.

5.1.2.2. Электрические искры (капли металла)

Электрические искры (капли металла) образуются при коротком замыкании электропроводки, электросварке и при плавлении электродов электрических ламп накаливания общего назначения. Размер капель металла при этом достигает 3 мм (при потолочной сварке - 4 мм). При коротком замыкании и электросварке частицы вылетают во всех направлениях, и их скорость не превышает 10 и 4 м·с⁻¹ соответственно. Температура капель зависит от вида металла и равна температуре плавления. Температура капель алюминия при коротком замыкании достигает 2500 °С, температура сварочных частиц и никелевых частиц ламп накаливания достигает 2100 °С. Размер капель при резке металла достигает 15-26 мм, скорость - 1 м·с⁻¹, температура 1500 °С. Температура дуги при сварке и резке достигает 4000 °С, поэтому дуга является источником зажигания всех горючих веществ.

Зона разлета частиц при коротком замыкании зависит от высоты расположения провода, начальной скорости полета частиц, угла вылета и носит вероятностный характер. При высоте расположения провода 10 м вероятность попадания частиц на расстояние 9 м составляет 0,06, 7 м - 0,45 и 5 м - 0,92, при высоте расположения 3 м вероятность попадания частиц на расстояние 8 м составляет 0,01, 6 м - 0,29 и 4 м - 0,96, а при высоте 1 м вероятность разлета частиц на 6 м - 0,06, 5 м - 0,24, 4 м - 0,66 и 3 м - 0,99.

Количество теплоты, которое капля металла способна отдать горючей среде при остывании до температуры ее самовоспламенения, рассчитывают следующим способом.

Среднюю скорость полета капли металла при свободном падении (ω_K), м·с⁻¹, вычисляют по формуле

$$\omega_K = 0,5\sqrt{2gH}, \quad (73)$$

где $g=9,81$ м·с⁻² - ускорение свободного падения;

* Вероятно ошибка оригинала. Следует читать "м·с⁻²". - Примечание изготовителя базы данных.

H - высота падения, м.

Объем капли металла (V_K), м³, вычисляют по формуле

$$V_K = \frac{\pi d_K^3}{6} = 0,524d_K^3, \quad (74)$$

где d_K - диаметр капли, м.

Массу капли (m_K), кг, вычисляют по формуле

$$m_K = V_K \rho, \quad (75)$$

где ρ - плотность металла, кг·м⁻³.

В зависимости от продолжительности полета капли возможны три ее состояния: жидкое, кристаллизации, твердое.

Время полета капли в расплавленном (жидком) состоянии (τ_p), с, рассчитывают по формуле

$$\tau_p = \frac{C_p \cdot m_K}{\alpha \cdot S_K} \cdot \ln \frac{T_K - T_0}{T_{\text{пл}} - T_0}, \quad (76)$$

где C_p - удельная теплоемкость расплава металла, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

m_K - масса капли, кг;

$S_K = 0,785d_K^2$ - площадь поверхности капли, м²;

T_K , $T_{\text{пл}}$ - температура капли в начале полета и температура плавления металла соответственно, К;

T_0 - температура окружающей среды (воздуха), К;

α - коэффициент теплоотдачи, Вт·м⁻²·К⁻¹.

Коэффициент теплоотдачи определяют в следующей последовательности:

а) вычисляют число Рейнольдса по формуле

$$Re = \frac{\omega_K \cdot d_K}{\nu}, \quad (77)$$

где d_K - диаметр капли, м;

$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6}$ - коэффициент кинематической вязкости воздуха при температуре 20 °С, м²·с⁻¹;

* Вероятно ошибка оригинала. Следует читать "м²·с⁻¹". - Примечание изготовителя базы данных.

б) вычисляют критерий Нуссельта по формуле

$$Nu = 0,62 Re^{0,5}; \quad (78)$$

в) вычисляют коэффициент теплоотдачи по формуле

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_B}{d_K}, \quad (79)$$

где $\lambda_B = 22 \cdot 10^{-3}$ - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт·м⁻¹·К⁻¹.

Если $\tau \leq \tau_p$, то конечную температуру капли определяют по формуле

$$T_{\text{кон}} = T_0 + (T_K - T_0) \cdot \exp \left\{ - \frac{\alpha \cdot S_K}{C_p \cdot m_K} \cdot \tau \right\}. \quad (80)$$

Время полета капли, в течение которого происходит ее кристаллизация, определяют по формуле

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{m_K \cdot C_{\text{кр}}}{\alpha \cdot S_K \cdot (T_{\text{пл}} - T_0)}, \quad (81)$$

где $C_{\text{кр}}$ - удельная теплота кристаллизации металла, Дж·кг⁻¹.

Если $\tau_p < \tau \leq (\tau_p + \tau_{\text{кр}})$, то конечную температуру капли определяют по формуле

$$T_{\text{кон}} = T_{\text{пл}}. \quad (82)$$

Если $\tau > (\tau_p + \tau_{\text{кр}})$, то конечную температуру капли в твердом состоянии определяют по формуле

$$T_{\text{кон}} = T_0 + (T_{\text{пл}} - T_0) \cdot \exp \left\{ - \frac{\alpha \cdot S_K}{C_K \cdot m_K} \cdot [\tau - (\tau_p + \tau_{\text{кр}})] \right\}, \quad (83)$$

где C_K - удельная теплоемкость металла, Дж·кг⁻¹·К⁻¹.

Количество тепла (W), Дж, отдаваемое каплей металла твердому или жидкому горючему материалу, на который она попала, вычисляют по формуле

$$W = V_K \cdot \rho_K \cdot C_K \cdot (T_{\text{кон}} - T_{\text{св}}) \cdot K, \quad (84)$$

где $T_{\text{св}}$ - температура самовоспламенения горючего материала, К;

K - коэффициент, равный отношению тепла, отданного горючему веществу, к энергии, запасенной в капле.

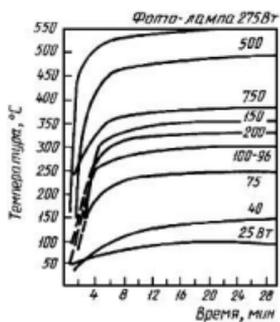
Если отсутствует возможность определения коэффициента K , то принимают $K=1$.

Более строгое определение конечной температуры капли может быть проведено при учете зависимости коэффициента теплоотдачи от температуры.

5.1.2.3. Электрические лампы накаливания общего назначения

Пожарная опасность светильников обусловлена возможностью контакта горючей среды с колбой электрической лампы накаливания, нагретой выше температуры самовоспламенения горючей среды. Температура нагрева колбы электрической лампочки зависит от мощности лампы, ее размеров и расположения в пространстве. Зависимость максимальной температуры на колбе горизонтально расположенной лампы от ее мощности и времени приведена на черт.3.

Черт.3. Зависимость максимальной температуры на колбе горизонтально расположенной лампы от ее мощности и времени



Черт.3

5.1.2.4. Искры статического электричества

Энергию искры ($W_{\text{и}}$), Дж, способную возникнуть под действием напряжения между пластиной и каким-либо заземленным предметом, вычисляют по запасенной конденсатором энергии из формулы

$$W_{\text{и}} = 0,5 C U^2, \quad (85)$$

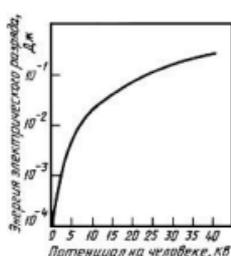
где C - емкость конденсатора, Ф;
 U - напряжение, В.

Разность потенциалов между заряженным телом и землей измеряют электрометрами в реальных условиях производства.

Если $W_{\text{и}} \geq 0,4 W_{\text{м.з.з}}$ ($W_{\text{м.з.з}}$ - минимальная энергия зажигания среды), то искру статического электричества рассматривают как источник зажигания.

Реальную опасность представляет "контактная" электризация людей, работающих с движущимися диэлектрическими материалами. При соприкосновении человека с заземленным предметом возникают искры с энергией от 2,5 до 7,5 мДж. Зависимость энергии электрического разряда с тела человека и от потенциала зарядов статического электричества показана на черт.4.

Черт.4. Зависимость энергии электрического разряда с тела человека и от потенциала зарядов статического электричества



Черт.4

5.1.3. Механические (фрикционные) искры (искры от удара и трения)

Размеры искр удара и трения, которые представляют собой раскаленную до свечения частичку металла или камня, обычно не превышают 0,5 мм, а их температура находится в пределах температуры плавления металла. Температура искр, образующихся при соударении металлов, способных вступать в химическое взаимодействие друг с другом с выделением значительного количества тепла, может превышать температуру плавления, и поэтому ее определяют экспериментально или расчетом.

Количество теплоты, отдаваемое искрой при охлаждении от начальной температуры $t_{\text{н}}$ до температуры самовоспламенения горючей среды $t_{\text{св}}$, вычисляют по формуле (84), а время остывания τ - следующим образом.

Отношение температур ($\Theta_{\text{п}}$) вычисляют по формуле

$$\Theta_{\text{п}} = \frac{t_{\text{н}} - t_{\text{св}}}{t_{\text{н}} - t_{\text{в}}}, \quad (86)$$

где $t_{\text{в}}$ - температура воздуха, °С.

Коэффициент теплоотдачи (α), Вт·м⁻²·К⁻¹, вычисляют по формуле

$$\alpha = 188 \sqrt{w_{\text{и}}}, \quad (87)$$

где $w_{\text{и}}$ - скорость полета искры, м·с⁻¹.

Скорость искры ($w_{\text{и}}$), образующейся при ударе свободно падающего тела, вычисляют по формуле

$$w_{\text{и}} = \sqrt{2gH}, \quad (88)$$

а при ударе о вращающееся тело по формуле

$$w_{\text{и}} = 2\pi \cdot n \cdot R, \quad (89)$$

где n - частота вращения, с⁻¹;

R - радиус вращающегося тела, м.

Скорость полета искр, образующихся при работе с ударным инструментом, принимают равной 16 м·с⁻¹, а с высекаемых при ходьбе в обуви, подбитой металлическими набойками или гвоздями, 12 м·с⁻¹.

Критерий Био вычисляют по формуле

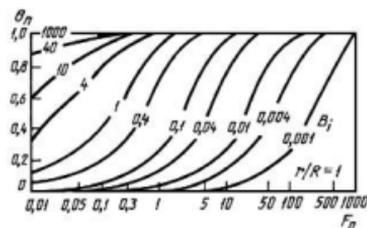
$$B_{\text{и}} = \frac{\alpha d_{\text{и}}}{\lambda_{\text{и}}}, \quad (90)$$

где $d_{\text{и}}$ - диаметр искры, м;

$\lambda_{\text{и}}$ - коэффициент теплопроводности металла искры при температуре самовоспламенения горючего вещества ($t_{\text{св}}$), Вт·м⁻¹·К⁻¹.

По значениям относительной избыточной температуры $\Theta_{\text{п}}$ и критерия $B_{\text{и}}$ определяют по графику (черт.5) критерий Фурье.

Черт.5. График определения значений относительной избыточной температуры и критерия Био



Черт.5

Длительность остывания частицы металла (τ), с, вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{F_0}{\lambda_{\text{и}}} \cdot d_{\text{и}}^2 C_{\text{и}} \rho_{\text{и}}, \quad (91)$$

где F_0 - критерий Фурье;

C_K - теплоемкость металла искры при температуре самовоспламенения горючего вещества, Дж · кг⁻¹·К⁻¹;

ρ_K - плотность металла искры при температуре самовоспламенения горючего вещества, кг·м⁻³.

При наличии экспериментальных данных о поджигающей способности фрикционных искр вывод об их опасности для анализируемой горючей среды допускается делать без проведения расчетов.

5.1.4. Открытое пламя и искры двигателей (печей)

Пожарная опасность пламени обусловлена интенсивностью теплового воздействия (плотностью теплового потока), площадью воздействия, ориентацией (взаимным расположением), периодичностью и временем его воздействия на горючие вещества. Плотность теплового потока диффузионных пламен (спички, свечи, газовой горелки) составляет 18-40 кВт·м⁻², а предварительно перемешанных (паяльные лампы, газовые горелки) 60-140 кВт·м⁻². В табл.6 приведены температурные и временные характеристики некоторых пламен и малокалорийных источников тепла.

Таблица 6

Наименование горящего вещества (изделия) или пожароопасной операции	Температура пламени (тления) или нагрева), °С	Время горения (тления), мин
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	800	-
Древесина и лесопиломатериалы	1000	-
Природные и сжиженные газы	1200	-
Газовая сварка металла	3150	-
Газовая резка металла	1350	-
Тлеющая папироса	320-410	2-2,5
Тлеющая сигарета	420-460	26-30
Горящая спичка	620-640	0,33

Открытое пламя опасно не только при непосредственном контакте с горючей средой, но и при ее облучении. Интенсивность облучения (ε_p), Вт·м⁻², вычисляют по формуле

$$\varepsilon_p = 5,7 \varepsilon_{\text{пр}} \left[\left(\frac{T_{\phi}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{св}}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1\phi} \quad (92)$$

где 5,7 - коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт·м⁻²·К⁻⁴;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - приведенная степень черноты системы

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \left(\frac{1}{\varepsilon_{\phi}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{в}}} - 1 \right) \quad (93)$$

ε_{ϕ} - степень черноты факела (при горении дерева равна 0,7, нефтепродуктов 0,85);

$\varepsilon_{\text{в}}$ - степень черноты облучаемого вещества принимают по справочной литературе;

T_{ϕ} - температура факела пламени, К;

$T_{\text{св}}$ - температура горючего вещества, К;

$\varphi_{1\phi}$ - коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями.

Критические значения интенсивности облучения в зависимости от времени облучения для некоторых веществ приведены в табл.7.

Таблица 7

Материал	Минимальная интенсивность облучения, Вт·м ⁻² , при продолжительности облучения, мин		
	3	5	15
Древесина (сосна влажностью 12%)	18800	16900	13900
Древесно-стружечная плита плотностью 417 кг·м ⁻³	13900	11900	8300
Торф брикетный	31500	24400	13200
Торф кусковой	16600	14350	9800
Хлопок-волокно	11000	9700	7500
Слоистый пластик	21600	19100	15400
Стеклопластик	19400	18600	17400
Пергамин	22000	19750	17400
Резина	22600	19200	14800
Уголь	-	35000	35000

Пожарная опасность искр печных труб, котельных, труб паровозов и тепловозов, а также других машин, костров, в значительной степени определяется их размером и температурой. Установлено, что искра диаметром 2 мм пожароопасна, если имеет температуру 1000 °С, диаметром 3 мм - 800 °С, диаметром 5 мм - 600 °С.

Теплосодержание и время остывания искры до безопасности температуры вычисляют по формулам (76 и 91). При этом диаметр искры принимают 3 мм, а скорость полета искры (ω_K), м·с⁻¹, вычисляют по формуле

$$\omega_K = \sqrt{0,5\omega_{\text{в}}^2 + 5H} \quad (94)$$

где $\omega_{\text{в}}$ - скорость ветра, м·с⁻¹;

H - высота трубы, м.

5.1.5. Нагрев веществ, отдельных узлов и поверхностей технологического оборудования

Температуру нагрева электропровода при возникновении перегрузки ($t_{ж}$), °С, вычисляют по формуле

$$t_{ж} = t_{ср,ж} + \left(\frac{I_{ф}}{I_{доп}} \right)^2 (t_{ж,н} - t_{ср,ж}), \quad (95)$$

где $t_{ср,ж}$ - нормативная температура среды для прокладки провода, принимается в соответствии с правилами электрооборудования, утвержденными Госэнергонадзором, °С;

$I_{ф}$ - фактический ток в проводнике, А;

$t_{ж,н}$ - нормативная температура жилы электропровода, °С;

$I_{доп}$ - допустимый ток в проводнике, А.

Температуру газа при сжатии в компрессоре и отсутствии его охлаждения (T_k), К, вычисляют по формуле

$$T_k = T_n \cdot \left(\frac{P_k}{P_n} \right)^{(k-1)/k}, \quad (96)$$

где T_n - температура газа в начале сжатия, К;

P_k, P_n - давление газа в конце и начале сжатия, кг·м⁻²;

k - показатель адиабаты (равен 1,67 и 1,4 соответственно для одно- и двухатомных газов).

Для многоатомных газов показатель адиабаты вычисляют по формуле

$$k = C_p / C_v, \quad (97)$$

где C_p, C_v - изобарная и изохорная удельные массовые теплоемкости газов, Дж·кг⁻¹·К⁻¹.

Температуру нагрева электрических контактов при возникновении повышенных переходных сопротивлений ($t_{н,к}$), °С, вычисляют по формуле

$$t_{н,к} = t_{ср} + \frac{P}{S\alpha_{общ}} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_k}} \right), \quad (98)$$

где $t_{ср}$ - температура среды, °С;

τ - время, с;

τ_k - постоянная времени нагрева контактов, с;

P - электрическая мощность, выделяющаяся в контактных переходах, Вт;

S - площадь поверхности теплообмена, м²;

$\alpha_{общ}$ - общий коэффициент теплоотдачи, Вт·м⁻²·К⁻¹.

До максимальной температуры контакты нагреваются за время

$$\tau \approx 5\tau_k. \quad (99)$$

Электрическую мощность (P), выделяющуюся в контактных переходах, вычисляют по формуле

$$P = I \cdot \sum_{i=1}^n U_i, \quad (100)$$

где I - ток в сети, А;

U_i - падение напряжения в i -й контактной паре в электрическом контакте, В;

n - количество контактных пар в контакте.

Значение падения напряжений на контактных парах U_i для деталей из некоторых материалов приведены в табл.8.

Таблица 8

Наименование материала	Алюминий	Графит	Латунь	Медь	Сталь
Алюминий	0,28				
Графит	3,0	3,0			
Латунь	0,63	2,4	0,54		
Медь	0,65	3,0	0,60	0,65	
Сталь	1,4	1,6	2,1	3,0	2,5

Коэффициент теплообмена вычисляют в зависимости от температуры контактов по формулам:

$$\alpha_{общ} = 4,073 \sqrt[3]{t_{н,к} - t_{ср}}, \text{ если } t_{н,к} \leq 60 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (101)$$

$$\alpha_{общ} = 11,63e^{0,0023kx}, \text{ если } t_{н,к} > 60 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (102)$$

Постоянную времени нагрева контактов вычисляют по формуле

$$\tau_k = \frac{Cm}{S\alpha_{общ}}, \quad (103)$$

где C - удельная массовая теплоемкость металла контактов, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

m - масса контактов, кг.

Расчет $t_{н,к}$ проводят в следующей последовательности. Для заданной температуры $t_{н,к}$ вычисляют $\alpha_{общ}$ и C , а затем по формуле (98) вычисляют $t_{н,к}$. Если выбранное и вычисленное значения $t_{н,к}$ отличаются более чем на 5%, то вычисление необходимо повторить.

Температуру подшипника скольжения при отсутствии смазки и принудительного охлаждения ($t_{п,с}$), °С, вычисляют по формуле

$$t_{п,с} = t_{ср} + \frac{a}{\alpha_{общ} \cdot S} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_n}} \right), \quad (104)$$

где $t_{ср}$ - температура среды, °С;

$a = 0,44 fNd\eta$ - коэффициент мощности, Вт;

f - коэффициент трения скольжения;

N - сила, действующая на подшипник, кг;

d - диаметр шипа вала, м;

η - частота вращения вала, мин⁻¹;

S - площадь поверхности теплообмена подшипника (поверхность подшипника, омываемая воздухом), м²;

τ - время работы подшипника, с;

$\tau_n = \frac{mC}{\alpha_{общ} \cdot S_m}$ - постоянная времени нагрева подшипника, с;

m - масса подшипника, кг.

Время нагрева подшипника (τ), с, до заданной температуры вычисляют по формуле

$$\tau = \tau_n \ln \left[\frac{a}{a - \alpha_{общ} S (t_{п,с} - t_{ср})} \right]. \quad (105)$$

Практически при $\tau = 5\tau_n$ температура подшипника достигает максимального значения, вычисляемого по формуле

$$t_{max} \approx t_{ср} + \frac{a}{\alpha_{общ} \cdot S}. \quad (106)$$

В формулах (106, 107, 108)* коэффициент теплообмена $\alpha_{\text{общ}}$ вычисляют по формулам (101 или 102).

* Номера формул соответствуют оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Последовательность расчета температуры подшипника аналогична расчету температуры нагрева контактов.

5.1.6. Нагрев вещества при самовозгорании

Минимальную температуру среды, при которой происходит тепловое самовозгорание, вычисляют из выражения

$$\lg t_c = A_p + n_p \lg S, \quad (107)$$

а время нагревания вещества до момента самовозгорания из выражения

$$\lg \tau_c = \frac{1}{n_b} (A_b - \lg t_c), \quad (108)$$

где t_c - температура окружающей среды, °C;

τ_c - время нагрева, ч;

A_p, A_b, n_p, n_b - эмпирические константы;

S - удельная поверхность тел, м⁻¹.

$$S = \frac{F}{V} = 2 \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h} \right), \quad (109)$$

где F - полная наружная поверхность тела, м²;

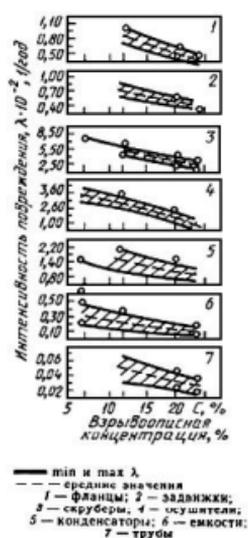
V - объем тела, м³;

l, b, h - размеры тела вдоль соответствующей координатной оси, м; например, для прямоугольного параллелепипеда: l - длина, b - ширина, h - высота; для цилиндра: $l = b = D_{\text{ц}}$ - высота; для шара: $l = b = h = D_{\text{ш}}$ и т.д.

5.2. Интенсивность отказов элементов оборудования, приборов и аппаратов

Зависимость интенсивности повреждений оборудования, приводящих к взрыву, от взрывоопасной концентрации для производства дивинила, метана, этилена и аммиака приведена на черт.6.

Черт.6. Зависимость интенсивности повреждений оборудования, приводящих к взрыву, от взрывоопасной концентрации для производства дивинила, метана, этилена и аммиака



Черт.6

Интенсивность отказов различных элементов технологических аппаратов и защитных устройств определяют по табл.9, 10.

Таблица 9

Интенсивность отказа элементов

Наименование элемента	Интенсивность отказов ($\lambda \cdot 10^6$), ч ⁻¹		
	Нижний предел	Среднее значение	Верхний предел
Механические элементы			
Гильзы	0,02	0,045	0,08
Дифференциалы	0,012	1,00	1,58
Зажимы	0,0003	0,0005	0,0009
Кольца переменного сечения	0,045	0,55	3,31
Коробки коленчатого вала	0,1	0,9	1,8
Коробки передач:			
соединительные	0,11	0,2	0,36
секторные	0,051	0,912	1,8
скоростные	0,087	2,175	4,3
Корпуса	0,03	1,1	2,05
Муфты:			
сцепления	0,04	0,06	1,1
скользящие	0,07	0,3	0,94
Ограничители	0,165	0,35	0,783
Ограничительные сменные кольца	-	0,36	-
Противовесы:			
большие	0,13	0,3375	0,545
малые	0,005	0,0125	0,03
Пружины	0,004	0,1125	0,221

Приводы:			
со шкивом	-	0,16	-
дополнительного сервомеханизма	0,86	12,5	36,6
обычных сервомеханизмов	0,86	12,5	36,6
более экономичные	0,6	3,3	18,5
менее	0,17	1,8	9,6
Приводные ремни передач	-	3,6	-
Подшипники:			
шариковые	0,02	0,65	2,22
соединительных муфт	0,008	0,21	0,42
роликовые	0,2	0,5	1,0
Шарикоподшипники:			
мощные	0,072	1,8	3,53
маломощные	0,035	0,875	1,72
Рессоры маломощные	-	0,112	-
Ролики	0,02	0,075	0,1
Соединения:			
механические	0,02	0,02	1,96
вращающиеся	6,89	7,50	9,55
паяные	0,0001	0,004	1,05
Соединительные коробки	0,28	0,4	0,56
Сервомеханизмы	1,1	2,0	3,4
Стержни	0,15	0,35	0,62
Устройства связи:			
направленные	0,065	1,52	3,21
поворотные	0,001	0,025	0,049
гибкие	0,027	0,039	1,348
жесткие	0,001	0,025	0,049
Фильтры механические	0,045	0,3	1,8
Шестерни	0,002	0,12	0,98
Штанги плунжера	-	0,68	-
Штифты:			
с нарезкой	0,006	0,025	0,1
направляющие	0,65	1,625	2,6
Шарниры универсальные	1,12	2,5	12,0
Шасси	-	0,921	-
Эксцентрики	0,001	0,002	0,004
Пружины	0,09	0,22	0,42
Теплообменники	2,21	15,0	18,6
Гидравлические и пневматические элементы			
Диафрагмы	0,1	0,6	0,9
Источники гидравлические мощности	0,28	6,1	19,3
Задвижки клапанов	0,112	5,1	44,8
Задвижки возбуждения	0,112	0,212	2,29
Клапаны:			
шариковые	1,11	4,6	7,7
рычажные	1,87	4,6	7,4
нагруженные	0,112	5,7	18,94
сверхскоростные	1,33	3,4	5,33
обходные	0,16	2,24	8,13
стопорные	0,112	2,3	4,7
контрольные	0,24	1,9	2,2
дренажные	-	0,224	-

наполнительные	0,1	0,112	1,12
поплавковые	5,6	8,0	11,2
горючего	1,24	6,4	37,2
давления	0,112	5,6	32,5
первичные	0,165	6,3	14,8
двигателя	-	37,2	-
регулятора	-	0,56	-
разгрузочные:	0,224	5,7	14,1
давления	0,224	3,92	32,5
термические	5,6	8,4	12,3
резервуарные	2,70	6,88	10,8
селекторные	3,7	16,0	19,7
регулирующие	0,67	1,10	2,14
ручные переключающие	0,112	6,5	10,2
скользящие	0,56	1,12	2,28
ползунковые	-	1,12	-
соленоидные:	2,27	11,0	19,7
трехходовые	1,87	4,6	7,41
четырёхходовые	1,81	4,6	7,22
импульсные	2,89	6,9	9,76
перепускные	0,26	0,5	2,86
разгрузочные	3,41	5,7	15,31
Сервоклапаны	16,8	30,0	56,0
Манометры	0,135	1,3	15,0
Моторы гидравлические	1,45	1,8	2,25
Нагнетатели	0,342	2,4	3,57
Насосы с машинным приводом	1,12	8,74	31,3
Поршни гидравлические	0,08	0,2	0,85
Приводы постоянной скорости пневматические	0,3	2,8	6,2
Прокладки:			
пробковые	0,003	0,04	0,077
пропитанные	0,05	0,137	0,225
из сплава "Монель"	0,0022	0,05	0,908
кольцеобразные	0,01	0,02	0,035
феноловые (пластмассовые)	0,01	0,05	0,07
резиновые	0,011	0,02	0,03
Регуляторы:			
давления	0,89	4,25	15,98
гидравлические	-	3,55	-
пневматические	3,55	7,5	15,98
Резервуары гидравлические	0,083	0,15	0,27
Сильфоны	0,09	2,287	6,1
Соединения:			
гидравлические	0,012	0,03	2,01
пневматические	0,021	0,04	1,15
Соединительные гидравлические муфты	-	0,56	-
Трубопроводы	0,25	1,1	4,85
Цилиндры	0,005	0,007	0,81
Цилиндры пневматические	0,002	0,004	0,013
Шланги:			
высокого давления	0,157	3,93	5,22
гибкие	-	0,067	-
пневматические	-	3,66	-

Таблица 10

Интенсивность отказов защитных устройств

Наименование элемента	Среднее значение интенсивности отказов ($\lambda \cdot 10^6$), ч ⁻¹
Индикаторы взрывов автоматических систем подавления взрывов (АСПВ)	0,25
Блоки управления автоматических систем подавления взрывов (на каждый канал)	0,12
Гидропушки ГП (АСПВ)	0,27
Оросители АС (АСПВ)	0,32
Пламеотсекатели ПО (АСПВ)	0,39
Кабели (АСПВ)	0,047
Предохранительные мембраны	0,0112