

УДК: 614.8.084

Оценка пожарных рисков и поражающих факторов закрытого распределительного устройства 220 кВ

Evaluation of fire risks and damaging factors 220 kV closed switchgear

С.Н. Масаев¹

канд.тех.наук,

А.Н. Минкин²

канд.тех.наук, доцент,

Д.А. Едимичев³

канд.тех.наук

^{1,2,3}ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет

²ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

S.N. Masaev¹

Ph.D of Engineering Sciences,

A.N. Minkin²

Ph.D of Engineering Sciences,

Assistant Professor,

D.A. Edimichev³

Ph.D of Engineering Sciences.

^{1,2,3}FSAEI HE Siberian Federal University

²FSBEI HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

Аннотация:

Статья посвящена оценке пожарной опасности на закрытом распределительном устройстве 220 кВ через расчет риска возникновения и развитие, по сценариям, пожара с проливом горючей жидкости (трансформаторного масла). Проводится оценке поражающих факторов пожара с проливом в зависимости от расстояния от места аварийной ситуации.

Ключевые слова: риск пожара, ЗРУ, сценарии развития пожара.

Abstract:

The article is devoted to the assessment of fire danger on a closed switchgear of 220 kV through the calculation of the risk of occurrence and development, according to scenarios, of a fire with spillage of a flammable liquid (transformer oil). An assessment of the damaging factors of a fire with a strait is carried out depending on the distance from the place of an emergency.

Keywords: the risk of fire, indoor switchgear, fire development scenarios.

Введение

Землетрясения, наводнения, ураганы, грозы, пожары и др. всегда угрожали жизни и деятельности человека. Взаимодействие человека со стихиями (природными опасностями) начинается с доисторического периода его существования. Сначала взаимодействие человека со стихиями носило больше случайный и крайне негативный характер, но деятельность человека неизбежно становилась интеллектуальной всеохватывающей и распространилась, почти, на всю планету Земля и в ничтожной доле на некоторые планеты солнечной системы.

На сегодняшний день развития технологий, человек, в силу управления стихиями (вода, электричество и т.д), вынужден учиться обеспечению безопасности жизни и здоровья в каждой конкретной ситуации в окружающей нас среде или техносфере. Совершенствование процессов обеспечения безопасности жизни и здоровья человека является залогом развития научно-технического прогресса региона, страны, мирового сообщества.

Расчет вероятности возникновения пожара на объектах не является исключением, можно сказать техногенной необходимостью развития общества, таких процессов совершенствования безопасности [1-3]. Расчетом и оценкой вероятностей пожаров занимались и занимаются многие авторы. Отметим некоторые работы Н.Н. Брушлинского, А.Н. Елохина, Н.Н. Бурдакова, А.П. Шевчука, А.Н. Баратова, Ю.Н. Шебеко, И.А. Болдыряна, В.И. Присадкова, В.П. Назарова, С.А. Швыркова, С.В. Пузача,

В.В. Холщевникова, М.В. Лисанова, В.П. Молчанова, Ю.И. Дешевых, А.И. Гилетича, В.С. Сафонова, М.Н. Мансурова, А.Н. Черноплекова, И.В. Каплина, С.М. Pietersen, М. Morris, G.A. Clay, V.C. Marshall, B.J.M. Alle, N.A. Roberts, A. Wolski, B.J. Paaske, L. Nesheim, O. Thomassen, L. Tronstad, A. Rajendram, и других российских и зарубежных ученых.

Все выше сказанное определяет актуальность проблем темы оценки пожарных рисков закрытого распределительного устройства 220 кВ.

Цели и задачи

- Расчет вероятности пожара закрытого распределительного устройства 220 кВ.
- Оценка опасных факторов пожара по расстоянию от геометрического места пожара для человека.

Характеристика объекта

Закрытое распределительное устройство (ЗРУ) 220 кВ находится на производственном объекте и разделено на три блока (рисунок 1):

- первый блок - распределительное устройство. Принимает напряжение 220 кВ и распределяет его на трансформаторы и комплексные выпрямительные агрегаты во втором блоке;
- второй блок - комплектные выпрямительные агрегаты. Понижают напряжение 220 кВ в 1,2 кВ и преобразуют в постоянный ток для нужд производства;
- третий блок - открытые трансформаторы. Понижает электроэнергию напряжением 220 кВ в 10 кВ, для нужд всех объектов производственного комплекса.

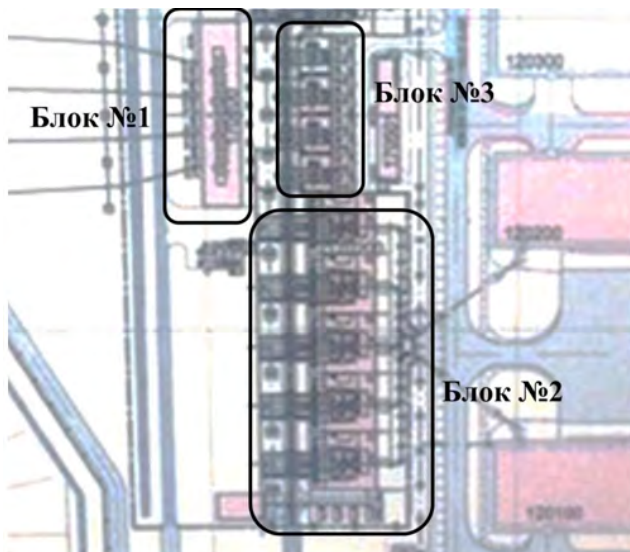


Рисунок 1 - Графическая схема объекта ЗРУ 220 кВ.

Определение пожарной опасности объекта ЗРУ 220

Для определения пожарной опасности объекта ЗРУ 220 необходимо рассмотреть все 3 блока раздельно [3].

Первый блок: 3-этажное здание, общей высотой 20 м, размерами 60*12 м, подвальных и чердачных помещений нет, наружные стены здания из негорючих «сэндвич» панелей (Е1-150) толщиной 150 мм, кирпичные стены-перегородки толщиной 250 мм и 120 мм кабинетов первого этажа, перегородки из гипрока толщиной 125 мм. (Е1-45) и 150 мм. (Е1-90), кровля из кровельных «сэндвич» панелей (Е1-30) толщина 150 мм. На втором этаже в 209 и 205 кабинетах фальшпол толщина 60 см. (кабельные шахты).

- 1 этаж: Ворота южные противопожарные двухстворчатые (Е1-60). Двери (Е1 - 60) в кабинетах 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 122.
- 2 этаж: Противопожарные двери (Е1 - 60) в кабинетах: 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 212, 215.
- 3 этаж: Двери противопожарные (Е1 - 60)

В дневное время суток в здании 17 человек. В ночное 4 человека.

Проводящие ток элементы заполнены элегазом и подавляют короткое замыкание.

Второй блок состоит из 5 агрегатов. В агрегатах маслonaполненные трансформаторы и выпрямительные устройства, стоящие раздельно каждый в своем помещении (4 агрегата рабочие, 1 агрегат запасной).

Опасность возникновения пожара заключается в коротком замыкании в узлах трансформатора и воспламенении масла, поэтому агрегаты оснащены реле отключения электропитания, помещения оснащены системой охлаждения, системой тушения порошкового типа.

Третий блок состоит из 3 открытых трансформаторов маслonaполненного типа, разделенных со вторым блоком стеной.

Как и второй блок оснащен реле принудительного отключения электропитания. Для уменьшения последствий аварий оборудован маслоприемниками. Отсутствует система автоматического охлаждения и тушения, что позволяет нам рассматривать третий блок как потенциально опасный [4].

Данные для расчета

Данный трансформаторный блок находится на территории крупного предприятия в Красноярском крае. Конструктивно в трансформаторном блоке 3 маслonaполненных трансформатора по 46 тонн

масла в каждом. Размеры трансформатора - 4x5,5 м, высота - 3 м. Огорожены трансформаторы, по бокам, бетонной стеной 9x8 м. Под каждым трансформатором, расположен маслоприёмник площадью 90 м². Трансформатор преобразует 220000 в 10000 В. Трансформатор имеет клапан сброса излишнего давления больше 80 кПа, чтобы исключить повреждения от электрической дуги при коротком замыкании.

Исходные данные по справочнику: [5]

Физико-химические свойства трансформаторного масла

суммарная формула – $C_{25,25} * H_{47,11}$;

молярная масса - 351 кг/моль;

температура вспышки - 150 °С;

температура кипения - 350 °С;

константы уравнения Антуана: $A = 16,3553$, $B = 4715,69$, $C_A = -152,1$.

Исходные статистические данные, необходимые для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций

Исходные данные брались в соответствии с методиками определения расчетных величин пожарного риска [6-8].

Таблица 1: Значения частот возникновения пожароопасных ситуаций (событий) для маслонаполненных трансформаторов по справочнику.

Показатель	Обозначение	Значение
Вероятность перегрева масляного трансформатора и изменения свойств масла	$Q_{\text{бперегр.трансф}}$	$1,408 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$
Вероятность образования газа из трансформаторного масла	$Q_{\text{выдел.ГГ}}$	$0,33 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$
Вероятность нарушения целостности емкости с маслом и снижение уровня масла до критического	$Q_{\text{разг.трансф}}$	$0,46240^{-5} \text{ год}^{-1}$
Вероятность уничтожения трансформатора при пожаре разливе	$P_{\text{разр.трансф}}$	0,4
Вероятность взрыва трансформатора от пожара разлива	$P_{\text{взр.трансф}}$	0,6
Вероятность срабатывания противоаварийной и противопожарной защиты		
Вероятность отработки датчика температуры трансформатора	$P_{\text{ср.датч.т}}$	0,9
Вероятность отработки датчика обнаружения горючих газов трансформатора	$P_{\text{ср.датч.гг}}$	0,82

Вероятность отработки датчика уровня масла трансформатора	$P_{\text{ср.датч.УРМ}}$	0,85
Вероятность успешной локализации АС	$P_{\text{эф.рест.ПЧ}}$	0,92

Исходная информация по метеорологическим условиям в Богучанском районе

Статистические данные метеорологической службы РФ:

- средняя плотность окружающего воздуха - 1,177 кг/м³;
- средняя скорость ветра - 1,6 м/с.

Анализ пожарной опасности маслонаполненного трансформатора

Закономерность и вероятность возникновения и развития пожароопасных ситуаций (пожаров) определяется из статистического анализа аварийных ситуаций на подобных и идентичных объектах. Из полученной информации можно сделать вывод, что аварийные ситуации на масляных трансформаторах развиваются по однотипной схеме:

- изменение свойств масла из-за перегрева трансформаторного масла в результате увеличенной нагрузки;
- короткое замыкание в результате несоответствия трансформаторного масла, необходимого для изоляции запчастей силового трансформатора;
- нарушение герметичности емкости с маслом из-за воздействия внешних факторов (короткого замыкания) и разлив горючего продукта в маслоприемник;
- увеличение времени реакции специальных служб для устранения ЧС, что приводит к увеличению масштабов материального ущерба.

Варианты развития пожарных ситуаций

Сценарии возникновения и развития ЧС на масляном трансформаторе построены методом логических деревьев событий из следующих предположений на основе учебного пособия [6-8]:

1. Первичные причины пожароопасной ситуации определены событиями: перегрев трансформатора, выделение горючего газа, разгерметизация горючего газа, нарушение целостности агрегата.

- Условимся, что с вероятностью 100% срабатывает реле отключения электричества, иначе ущерб от ЧС очень большой.
- Происходит воспламенение горючего продукта, который распространился из-за разгерметизации емкости масляного трансформатора.

- Возникает пожар пролива, так как разившийся горючий продукт воспламенился мгновенно.
 - При разгерметизации трансформатора пролив горючего продукта происходит в маслоприемнике, а при их разрушении вокруг объекта.
 - Если не устранять пожар пролива или малоэффективной работы пожарных расчетов, то объект уничтожается полностью.
 - Уничтожение или частичное повреждение прилегающих объектов произойдет только при взрыве трансформатора, из-за ограждающей стены.
- Вероятность пожароопасных ситуаций
Для определения вероятности наступления пожара сформированы возможные сценарии пожароопасных ситуаций и развития пожара (табл. 2) [6-8].

Таблица 2 - Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария
Трансформатор с маслом № 1	перегрев трансформатора	Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива без последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров	1
		Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива с последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров	2
		Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива с последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров. Взрыв трансформатора.	3
	Потеря свойств масла и выделение горючего газа	Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива без последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров	4
		Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива с последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров. Разрушение трансформатора.	5
Трансформатор с маслом № 1	перегрев трансформатора, выделение горючих паров	Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива с последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров. Разрушение трансформатора.	6
	Нарушение емкости с маслом с его постепенным уменьшением ниже минимального уровня	Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива без последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров	7
		Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива с последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров. Разрушение трансформатора.	8
		Замыкание рабочих элементов трансформатора, возникновение пожара пролива с последующего развития пожара и возникновения вторичных пожаров. Взрыв трансформатора.	9

Вероятность развития каждого сценария определялась по табл. 2 и представлена в табл. 3 с расчетами.

Таблица 3 - Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров

№	Формула	Значение
1	$Q_{\text{перегр.трансф}} * (1 - P_{\text{ср.датч.Г}}) * P_{\text{эф.реак.ПЧ}}$	$12,9536 * 10^{-7} \text{ год}^{-1}$
2	$Q_{\text{перегр.трансф}} * (1 - P_{\text{ср.датч.Г}}) * (1 - P_{\text{эф.реак.ПЧ}}) * P_{\text{разр.трансф}}$	$4,5056 * 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
3	$Q_{\text{перегр.трансф}} * (1 - P_{\text{ср.датч.Г}}) * (1 - P_{\text{эф.реак.ПЧ}}) * P_{\text{взр.трансф}}$	$6,7584 * 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
4	$Q_{\text{выдел.ГТ}} * (1 - P_{\text{ср.датч.ГТ}}) * P_{\text{эф.реак.ПЧ}}$	$5,4648 * 10^{-7} \text{ год}^{-1}$
5	$Q_{\text{выдел.ГТ}} * (1 - P_{\text{ср.датч.ГТ}}) * (1 - P_{\text{эф.реак.ПЧ}}) * P_{\text{разр.трансф}}$	$1,9008 * 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
6	$Q_{\text{выдел.ГТ}} * (1 - P_{\text{ср.датч.ГТ}}) * (1 - P_{\text{эф.реак.ПЧ}}) * P_{\text{взр.трансф}}$	$2,8512 * 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
7	$Q_{\text{разг.трансф}} * (1 - P_{\text{ср.датч.УРМ}}) * P_{\text{эф.реак.ПЧ}}$	$6,3756 * 10^{-7} \text{ год}^{-1}$
8	$Q_{\text{разг.трансф}} * (1 - P_{\text{ср.датч.УРМ}}) * (1 - P_{\text{эф.реак.ПЧ}}) * P_{\text{разр.трансф}}$	$2,2176 * 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
9	$Q_{\text{разг.трансф}} * (1 - P_{\text{ср.датч.УРМ}}) * (1 - P_{\text{эф.реак.ПЧ}}) * P_{\text{взр.трансф}}$	$3,3264 * 10^{-8} \text{ год}^{-1}$

Определение опасных факторов пожара для определенных сценариев его развития

Учитываем следующие опасные факторы пожара:

- при полном разрушении трансформатора выход масла за его пределы;
- интенсивное тепловое излучение при пожарах;
- при взрыве трансформатора повышенное давление и импульс волны.

Разрушение трансформатора и выход масла за его пределы

Расчет производился на основе методических указаний [6-8].

Объем поступившего масла в окружающую среду определяется следующими установками:

- Короткое замыкание частей, узлов трансформатора и следующий за этим пожар пролива порождает пролив всего масла ограниченного маслоприемником
- Масло выходит за пределы маслоприёмника в случае полного разрушения трансформатора с переливом части масла через маслоприёмник.

Высота маслоприёмника $a = 0,8 \text{ м}$.

Объем трансформаторного масла ($V_{\text{трансф}} = 56,125 \text{ м}^3$) соотнесем к площади днища трансформатора ($S_{\text{дн.трансф}} = 22 \text{ м}^2$), тогда получим начальную высоту столба жидкости в резервуаре по формуле 1:

$$h_0 = V_{\text{трансф}} / S_{\text{дн.трансф}} \quad (1)$$

$$h_0 = 2,55114 \text{ м}.$$

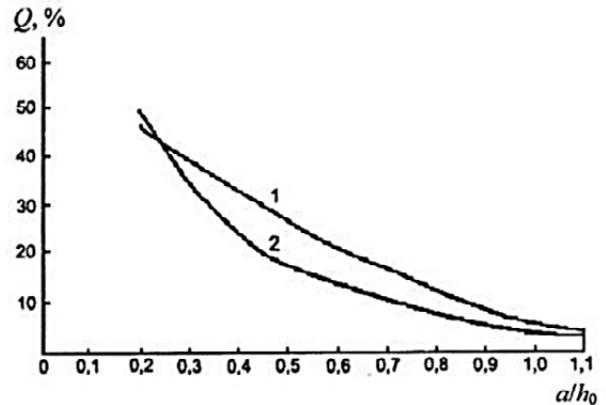


Рисунок 2 - Зависимость доли перелившейся через обвалования жидкости Q от параметра a/h_0 (1 – расчет, 2 – эксперимент)

Значение параметра a/h_0 составляет 0,31

На основе рис. 2 (кривая 1) доля масла перелившегося через маслоприемник 38%, а объем перелившегося масла $V_{\text{мас.перелив}} = 21,3275 \text{ м}^3$.

По формуле 2 определяем площадь пролива масла за пределами маслоприёмника трансформатора $F_{\text{прх}}$. При коэффициенте разлития f_p равен 20 м^{-1} (пролив на спланированное грунтовое покрытие).

$$F_{\text{прх}} = f_p V_{\text{мас.перелив}} \quad (2)$$

$$F_{\text{прх}} = 426,55 \text{ м}^2$$

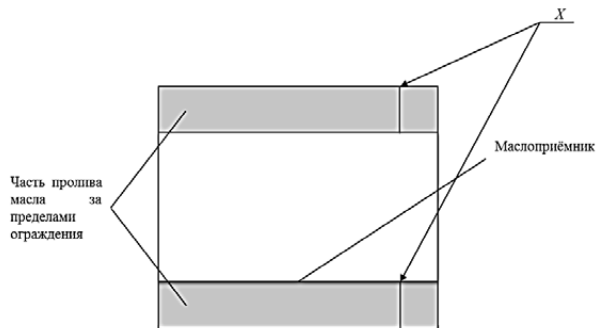


Рисунок 3 - Форма пролива масла за пределами маслоприёмника трансформатора

Маслоприёмник трансформатора прямоугольной формы (огражден защитными стенками с боков), периметр не ограничен $L_{\text{перим}} = 20 \text{ м}$. Форма пролива масла за пределами маслоприёмника распространяется по полосам шириной X , м рис.3 .

Ширина X , м, задается уравнением формулы (3):

$$XL_{\text{перим}} + \pi X^2 = F_{\text{прх}} \quad (3)$$

X рассчитается по формуле:

$$X = \frac{-L_{\text{перим}} + \sqrt{L_{\text{перим}}^2 + 4 \frac{F_{\text{прх}}}{\pi}}}{2}$$

$$X = 8,89777 \text{ м}.$$

Интенсивное тепловое излучение при пожарах

Расчет производился на основе методических указаний [6-8].

Расчет при возникновении пожара пролива.

Эффективный диаметр пролива d , м, рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (4)$$

где

F — площадь пролива, м².

$F_1 = S_{\text{масл}}$ - пожар пролива в маслоприёмнике;

$F_2 = S_{\text{масл}} + 10 \times X$ - пожар пролива с выходом за маслоприёмник.

$d_1 = 10,71$ м; $d_2 = 15,1$ м

Длина пламени L , м:

$$L = \begin{cases} 55d \left(\frac{m'}{p_a \sqrt{gd}} \right)^{0,67} u_o^{0,21}, & \text{если } u_o \geq 1 \\ 42d \left[\frac{m'}{p_a \sqrt{gd}} \right]^{0,61}, & \text{если } u_o < 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$u_o = \frac{w_o}{\sqrt{\frac{m'gd}{p_n}}}$$

где

m' - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²/с);

p_a - плотность окружающего воздуха, кг/м³;

p_n - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения (703,1 кг/м³);

w_o - скорость ветра (средняя 1,6 м/с), м/с;

g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

$u_{o1} = 8,892$; $u_{o2} = 7,93$.

$L_1 = 19,99$ м; $L_2 = 24,524$ м.

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_o < 1 \\ u_o^{-0,5}, & \text{при } u_o \geq 1 \end{cases}$$

$\cos \theta_1 = 0,335357$; $\cos \theta_2 = 0,35513$.

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X = r + 0,5d \quad (7)$$

Угловой коэффициент облученности F_q :

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (8)$$

где

F_V, F_H - факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно,

определяемые для площадок, расположенных в секторе 90° в направлении наклона пламени, по следующим формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \left\{ -E \operatorname{arctg} D + E \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1 + a \sin \theta)}{AB} \right] \times \operatorname{arctg} \left(\frac{AD}{B} \right) + \frac{\cos x}{c} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{ab - F^2 \sin \theta}{FC} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{F^2 \sin \theta}{FC} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left\{ -E \operatorname{arctg} \frac{1}{D} + \frac{\sin x}{c} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{ab - F^2 \sin \theta}{FC} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{F^2 \sin \theta}{FC} \right) \right] - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1 + a \sin \theta)}{AB} \right] \times \operatorname{arctg} \left(\frac{AD}{B} \right) \right\} \quad (10)$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1)a \sin \theta}; \quad (13)$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1)a \sin \theta}; \quad (14)$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cos^2 \theta)} \quad (15)$$

$$D = \sqrt{\frac{(b-1)}{(b+1)}} \quad (16)$$

$$E = \frac{a \cos \theta}{b - a \sin \theta} \quad (17)$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)} \quad (18)$$

$a_1 = 3,7335$; $a_2 = 3,24834$;

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле:

$$\tau = \exp [-7 \cdot 10^{-4} (X - 0,5d)] \quad (13)$$

Среднеповерхностную интенсивность теплового излучения пламени E_p , определяем по формуле:

$$E_f = 140e^{-0,12d} + 20(1 - e^{-0,12d}) \quad (14)$$

$$E_{f1} = 53,202 \text{ кВт/м}^2; E_{f2} = 39,6 \text{ кВт/м}^2$$

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², для пожара пролива трансформаторного масла рассчитываем по формуле:

$$q = E_f F_q \tau \quad (15)$$

На рис. 4 график зависимости интенсивность теплового излучения от расстояния от геометрического центра пролива до облучаемого объекта.

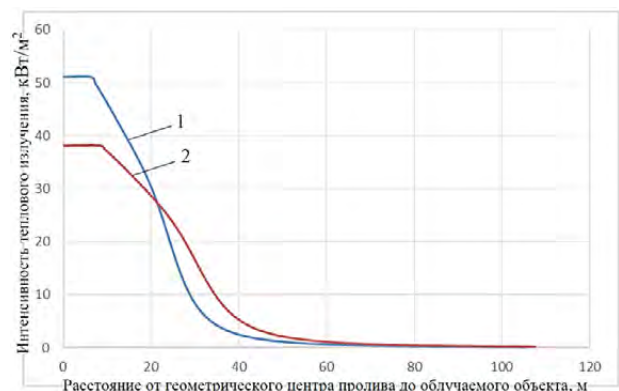


Рисунок 4 - Зависимость интенсивность теплового излучения от расстояния от геометрического центра пролива до облучаемого объекта (1 - для F_f ; 2 — для F_q)

Результаты расчётов интенсивности теплового излучения q для площади равной F_1 и F_2 занесены в приложение А.

Расчёт параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретым трансформаторным маслом и воздействию на него очага пожара.

Избыточное давление ΔP и импульс I^+ в волне давления, образующиеся при взрыве трансформатора с перегретым трансформаторным маслом в очаге пожара, определяются по формулам:

$$\Delta P = P_0 \left(0,8 \frac{m_{np}^{0,33}}{r} + 3 \frac{m_{np}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{m_{np}}{r^3} \right) \quad (16)$$

$$I^+ = 123 \frac{m_{np}^{0,66}}{r} \quad (17)$$

$$m_{np} = \left(\frac{E_{eff}}{4,52} \right) \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

где

r - расстояние от центра трансформатора, м;

E_{eff} - эффективная энергия взрыва.

Эффективная энергия взрыва, рассчитываемая по формуле:

$$E_{eff} = k C_p m (T - T_b) \quad (19)$$

где k - доля энергии волны давления (допускается принимать равной 0,5);

C_p - удельная теплоемкость жидкости (допускается принимать равной 2000 Дж/(кг • К));

m - масса ГЖ, содержащаяся в трансформаторе, кг;

T - температура жидкой фазы, К;

T_b - нормальная температура кипения, К.

В резервуаре смонтировано предохранительное устройство (клапан или мембрана) величина T определяется по формуле:

$$T = B / (A - \lg P_{val}) - C_A + 273,15 \quad (20)$$

где

P_{val} - давление срабатывания предохранительного устройства;

A, B, C_A - константы уравнения зависимости давления насыщенных паров жидкости от температуры (константы Антуана), определяемые по справочной литературе.

Получаем данные по расчетам: по формуле 20 $T = 837$ К, по формуле 19 $E_{eff} = 9844974157$ Дж., по формуле 18 $m_{np} = 2178,09$.

График избыточного давления и зависимости импульса в волне давления, образующиеся при взрыве трансформатора с перегретым маслом, от расстояния, приведён на рис. 5-6.

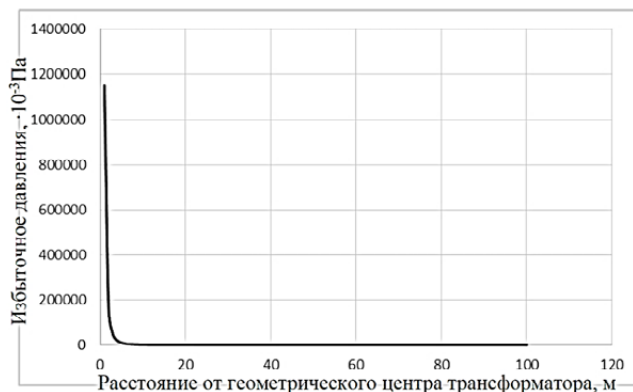


Рисунок 5 - Зависимость избыточного давления ΔP образующиеся при взрыве трансформатора с перегретым маслом, от расстояния, м.

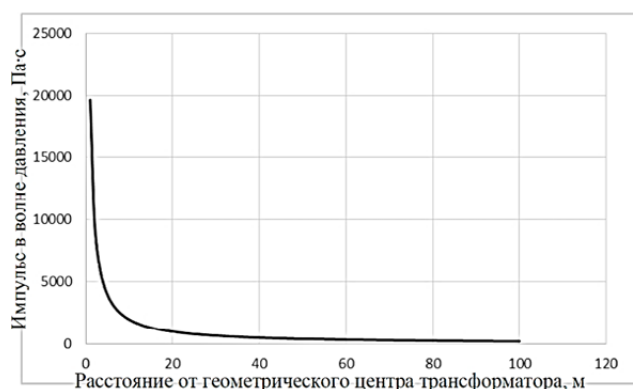


Рисунок 6 - Зависимость импульса I^+ в волне давления от расстояния, м.

Влияние на людей опасных факторов пожара

Расчет производился на основе методических указаний [6-8].

Рассчитаны значения полей опасных факторов для рассматриваемых сценариев:

- q_1 (г) (рис. 4, кривая 1) - зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров, с площадью пролива $F_1 = 90$ м² и средней скорости ветра 1,6 м/с.
- q_2 (г) (рис. 4, кривая 2) - зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния до границы очага для пожаров, характеризующихся площадью очага (площадью пролива) $F_2 = 178,98$ м², для средней скорости ветра 1,6 м/с.
- $\Delta P(r)$ и $I^+(r)$ (рис. 5 и 6) - зависимости избыточного давления и импульса в волне давления, при взрыве трансформатора с перегретой трансформаторным маслом в очаге пожара $m_{ГЖ} = 46000$ кг.

Исходя из выше перечисленных параметров определяем условные вероятности поражения людей.

1. $Q_{д1}$ - условные вероятности поражения человека опасными факторами пожара, в зависимости от площади очага (площадью пролива) $F_1 = 90 \text{ м}^2$, пожар в пределах маслоприёмника.

Частота возникновения пожаров по сценарию развития пожароопасных ситуаций и пожаров № 1, 4, 7 (см. табл. 3) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет:

$$Q_I = Q_1 + Q_4 + Q_7 \quad (21)$$

$$Q_I = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

2. $Q_{дII}$ - условные вероятности поражения человека опасными факторами пожара, в зависимости от площади очага (площадью пролива) $F_2 = 178,98 \text{ м}^2$, пожар с переливом через маслоприёмник при разрушении трансформатора.

Частота возникновения пожаров по сценарию развития ситуаций и пожаров № 2, 5, 8 (табл. 2) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет:

$$Q_{II} = Q_2 + Q_5 + Q_8 \quad (22)$$

$$Q_{II} = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}.$$

3. $Q_{дIII}$ - условные вероятности поражения человека и зданий опасными факторами пожара, характеризующихся взрывом трансформатора

Частота возникновения пожаров по сценарию развития ситуаций и пожаров № 3, 6, 9 (см. табл. 3.2) без дополнительных условий по скорости и направлению ветра составляет:

$$Q_{III} = Q_3 + Q_6 + Q_9 \quad (23)$$

$$Q_{III} = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Чтобы оценить характер воздействия опасных факторов пожара, для каждого сценария развития АС, использовались вероятностные и детерминированные критерии.

1. Рассчитана условная вероятность поражения человека для сценария $Q_{д1}$ связанных с возникновением пожаров проливов ($F_1 = 90 \text{ м}^2$).

Данная условная вероятность в зоне непосредственного воздействия пламени пожара (в пределах очага пожара), принималась равным 1.

Расстояние от границы очага пожара до зоны $r_1 = 31 \text{ м}$, интенсивность теплового излучения пожара равна 4 кВт/м^2 .

Величина эффективного времени экспозиции t определяется по формуле:

$$t = t_0 + x/u \quad (24)$$

где t_0 - характерное время, за которое человек принимает стратегию своих дальнейших действий, с (может быть принято равным 5);

x - расстояние от точки расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность поражающего фактора меньше (теплового излучения меньше 4 кВт/м^2));

u - средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с. Принимаем равной 3 с.

Значение пробит-функции P_r , рассчитывается по формуле:

$$P_r = -12,8 + 2,56 \ln(tq^{4/3}) \quad (27)$$

где q - интенсивность теплового излучения, кВт/м^2 .

Величина условной вероятности поражения в зависимости от значения пробит-функции определяется по формуле:

$$Q_{di}(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r - 5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU \quad (28)$$

Расчет по функции 28 можно представить на графике рисунка 7

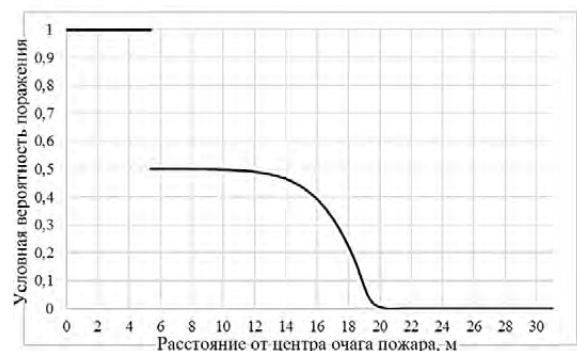


Рисунок 7 Зависимость условной вероятности поражения человека тепловым излучением от расстояния до очага пожара

2. Также рассчитаем условные вероятности поражения человека для сценария $Q_{дII}$ пожаров с проливом горячей жидкости ($F_2 = 178,98 \text{ м}^2$).

Зависимость условной вероятности поражения человека тепловым излучением в зависимости от расстояния до очага пожара, приведён на рис. 8.

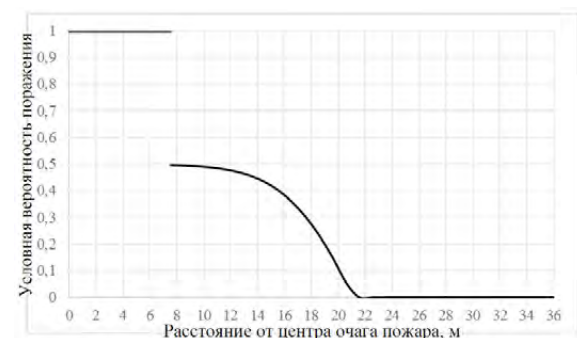


Рисунок 8 - Зависимость условной вероятности поражения человека тепловым излучением от расстояния до очага пожара

3. Также посчитаем условные вероятности поражения человека для сценария Q_{dIII} при взрыве трансформатора.

При воздействии волны давления на человека, находящегося вне здания:

$$P_r = 5,0 - 5,74 \ln S \quad (29)$$

$$S = \frac{4,2}{\bar{p}} + \frac{1,3}{\bar{i}} \quad (30)$$

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{P_0} \quad (31)$$

$$\bar{i} = \frac{I^+}{p_0^{1/2} m^{1/3}}$$

где m - масса тела человека (в среднем 70 кг), кг;

ΔP - избыточное давление волны давления, Па;

I^+ - импульс волны давления, Па • с;

P_0 - атмосферное давление, Па.

По формуле 28 рассчитано значение условной вероятности поражения в зависимости от значения пробит-функции. Значения данной функции представлены в виде графика на рис. 9.



Рисунок 9 - Зависимость условной вероятности поражения человека волной давления от расстояния до очага пожара

4. Рассчитаны условные вероятности поражения зданий для сценария Q_{dIII} взрыва трансформатора.

Пробит-функции для тяжёлых разрушений зданий рассчитывается по формулам:

$$P_r = 5,0 - 0,26 \ln V \quad (32)$$

$$V = (17500/\Delta P)^{8,4} + (290/I^+)^{9,3} \quad (33)$$

Пробит-функции для полного разрушения зданий рассчитывается по формулам:

$$Pr = 5,0 - 0,22 \ln V \quad (34)$$

$$V = (40000/\Delta P)^{7,4} + (460/I^+)^{11,3} \quad (35)$$

Условная вероятность поражения, в зависимости от значения пробит-функции, рассчитывается по формуле 28. Результат расчёта представлен на рис. 10.

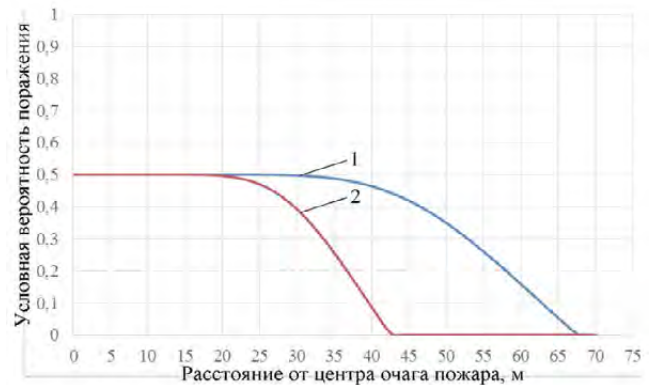


Рисунок 10 - Зависимость условной вероятности поражения зданий волной давления от расстояния до очага пожара (1 - тяжёлые; 2 - полное)

Вывод

Выполнен расчет вероятности пожара закрытого распределительного устройства 220 кВ. Произведена оценка опасных факторов пожара по расстоянию от геометрического места пожара для человека.

Расчет по частоте возникновения аварийной ситуации показал, что наиболее вероятное событие - перегрев трансформаторного масла при возросших нагрузках. По возможным сценариям возникновения и развития АС и поражения опасными факторами пожара человека видно, что данный объект необходимо располагать вне основного производства, вне дорог логистических маршрутов транспорта и массового скопления людей. Рассчитанные параметры являются важным критерием при проектировании и расположении инфраструктуры гражданского и производственного характера.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 31 марта 2009 г. № 272 "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска".
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
4. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа. Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2004. – 96 с.
5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. Изд.: в 2 книгах / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М., Химия, 1990.

6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утверждена приказом МЧС от 10.07.2009 г №404, зарегистрировано в Минюсте от 17.08.2009 г №14541).
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (утверждена приказом МЧС от 30.06.2009 г №382, зарегистрировано в Минюсте от 06.08.2009 г №14486)
8. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов (первая редакция): учебное пособие / под общей ред. О.М. Латышева.: ФГУ «Всероссийского ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России, Москва – 2010. – 125 с.