

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ПОЖАРНОГО РИСКА В МАШИННЫХ ЗАЛАХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**С.В. Пузач, О.С. Лебедченко, Е.С. Абакумов,
С.И. Науменко, В.Г. Плющиков, Ю.Г. Фоминых**

Кафедра безопасности жизнедеятельности
и управления природными и техногенными рисками
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198

Представлены результаты численных экспериментов по развитию пожара в машинном зале ГЭС с использованием интегральной, зонной и полевой моделей расчета тепломассообмена. Выполнен расчет потенциального, индивидуального и социального пожарных рисков согласно действующим нормативным документам. Показано, что в случае невыполнения условия безопасной эвакуации людей значение пожарного риска в некоторых случаях может соответствовать нормативному значению. Однако условие безопасной эвакуации людей выполняется только при наличии системы механического дымоудаления.

Ключевые слова: пожар, авария, гидроэлектростанция, теплообмен, оптическая плотность дыма, газовая среда.

Ежегодно на объектах энергетики из-за большого количества пожаров происходит гибель и травматизм людей, уничтожение государственного имущества. В связи с этим государство несет значительные потери, связанные с пожарами. Поэтому системы пожарной безопасности должны обеспечивать требуемый уровень безопасности людей [1].

Электрические станции являются составными элементами энергетического комплекса Российской Федерации. Электрические станции — это предприятия по производству электроэнергии, а в отдельных случаях и тепловой энергии. В зависимости от источника энергии различают тепловые электростанции (паротурбинные, газотурбинные и др.), гидроэлектростанции, солнечные, геотермальные и ветровые электростанции.

Ниже приведена статистика пожаров и аварий на гидроэлектростанциях в 2001—2010 гг.:

12 мая 2010 г. произошло сильное задымление на монтажной площадке Нижнекамской ГЭС у города Набережные Челны (Татарстан);

29 марта 2010 г. компания «Иркутскэнерго» из-за технического сбоя остановила работу одной из 16 турбин на Усть-Илимской ГЭС;

17 августа 2009 г. произошла авария на Саяно-Шушенской ГЭС, расположенной на реке Енисей в Сибири;

27 февраля 2008 г. произошел пожар на Рыбинской ГЭС в Ярославской области;

8 октября 2007 г. из-за повреждений на линии 500 КилоВ Бурейской ГЭС в Хабаровске произошли веерные отключения электрической энергии;

12 сентября 2007 г. на Новосибирской ГЭС произошел пожар на блочном трансформаторе;

13 июня 2007 г. произошел пожар на Жигулевской ГЭС в Самарской области;

19 августа 2006 г. на Бурейской ГЭС (Приамурье) вышел из строя блочный ТС 4-го гидроагрегата;

6 февраля 2006 г. в Талакане Амурской области на Бурейской ГЭС произошла поломка самого большого на электрической станции тысячетонного подъемного крана. От стрелы грузоподъемного устройства оторвался крюк. Падая, он пробил водовод станции, из которого моментально хлынула вода;

11 марта 2004 г. на ГЭС-10, расположенной на реке Вуокса в городе Светогорске Выборгского района Ленинградской области, произошло короткое замыкание. Станция остановилась, шлюзы стало затоплять и возникла опасность подтопления города, в котором проживало около 15 тыс. человек;

10 октября 2001 г. из-за землетрясения на Байкале произошла авария и возник пожар на подстанции Иркутской ГЭС.

В случае дополнительного строительства и реконструкции ГЭС расчет индивидуального пожарного риска необходимо произвести согласно ст. 1 п. 2 ст. 6 п. 2 ФЗ № 123.

В соответствии со ст. 94 ФЗ № 123 [1] оценка пожарного риска в МЗ ГЭС должна предусматривать построение полей ОФП для различных сценариев его развития и оценку последствий воздействия ОФП на людей.

Машинные залы (МЗ) ГЭС являются протяженными пространствами, развитыми по вертикали и горизонтали и имеющими большой объем (8000—100 000 м³) и высоту (15—35 м). Необходимое время эвакуации из МЗ, несмотря на их большие объемы, сравнительно небольшое. Поэтому безопасная эвакуация людей с учетом персонала, находящегося на более низких уровнях здания, невозможна без работы системы дымоудаления [2].

В данной работе представлены результаты проверки выполнения условия безопасной эвакуации людей, необходимой при расчете величины пожарного риска, с использованием интегральных, зонных и полевых моделей расчета динамики опасных факторов пожара (ОФП) [3] и методики определения расчетного времени [4] для МЗ ГЭС на примере типовой ГЭС, построенной в 1950 гг.

Зонная модель расчета теплообмена. Используется трехзонная модель, в которой объем помещения разбит на зоны конвективной колонки, припотолочного слоя и холодного воздуха [5].

Массовый расход газовой смеси по поперечному сечению колонки в зависимости от высоты находится из решения уравнения [5]:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{Bz(r + ztg\gamma)^4}{T_0AG(GT_0 + Bz)} + \frac{2Gtg\gamma}{r + ztg\gamma} - \frac{B}{T_0} \left(1 - \frac{2ztg\gamma}{r + ztg\gamma} \right), \quad (1)$$

где $A = \frac{T_0 R^2}{g p_0^2 \pi^2}$ — размерный параметр, с²·м⁵/(кг²·К); $B = \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{z_f c_p}$ — размерный параметр, кг·К/(м·с); $Q_{\text{пож}}$ — скорость тепловыделения, Вт; c_p — удельная изобарная теплоем-

кость газа, Дж/(кг·К); g — ускорение свободного падения, м/с²; $\chi = Q_{wl} / Q_{\text{пож}}$ — доля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту из зоны колонки от выделившейся в очаге горения; z — координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от открытой поверхности горючего материала, м; R — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К); T_o — температура холодного воздуха в помещении, К; p_o — давление наружного воздуха при $z = 0$, Па; r — эквивалентный радиус поверхности горючего материала, м; γ — угол полураскрытия конвективной колонки, рад.

Высота нижней границы припотолочного слоя находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя:

$$\frac{dz_k}{d\tau} = -\frac{G_k}{\rho_o F_{\text{п}}} - \frac{Q_{\text{пож}}(1-\phi)}{c_p \rho_o T_o F_{\text{п}}} - \frac{T_2 G_m}{\rho_o T_o F_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где z_k — высота до нижней границы припотолочного слоя от открытой поверхности горючего материала, м; τ — время, с; $F_{\text{п}}$ — площадь потолка помещения, м²; G_k — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочную зону, кг/с; G_m — массовый расход вытекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы, кг/с; T_2 — среднеобъемная температура в припотолочном газовом слое, К; ρ_o — плотность холодного воздуха в помещении, кг/м³; ρ_2 — среднеобъемная плотность в припотолочном слое, кг/м³; ϕ — коэффициент теплопотерь.

Начальное условие (при $\tau = 0$) имеет вид,

$$z_k = H - \delta,$$

где H — высота помещения, м; δ — толщина горючего материала, м.

Среднеобъемная температура и плотность в припотолочном слое находятся из решений дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа соответственно:

$$V \frac{d\rho_2}{d\tau} = G_k - G_m, \quad (3)$$

$$p_2 \approx p_o = \rho_2 R T_2, \quad (4)$$

где p_2 — давление в зоне припотолочного слоя, Па.

Уравнения (1)—(3) решаются численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности.

Полевая (дифференциальная) модель расчета тепломассообмена. Используется полевой метод расчета, разработанный в [3]. Решаются трехмерные нестационарные дифференциальные уравнения Рейнольдса.

Обобщенное дифференциальное уравнение имеет вид [3]

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho \hat{O}) + \text{div}(\rho w \hat{O}) = \text{div}(\tilde{A} \text{grad} \hat{O}) + S, \quad (5)$$

где ρ — плотность газовой смеси, кг/м³; w — скорость газовой смеси, м/с; Φ — зависимая переменная (энтальпия газовой смеси, проекции скорости на координатные оси, концентрации компонентов газовой смеси (O₂, CO, CO₂, HCl, продукты газификации горючего

материала), оптическая плотность дыма, кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации); Γ — коэффициент диффузии для Φ ; S — источниковый член.

Лучистый теплоперенос определяется с помощью метода моментов (диффузионная модель). Радиационная составляющая источникового члена в уравнении энергии равна:

$$S_r = -\frac{4\pi}{3} \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

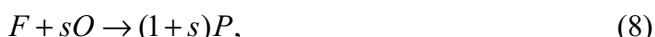
где I — интенсивность излучения ($\text{Вт}/\text{м}^2$), находящаяся из решения уравнения

$$\frac{1}{\beta} \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right) = 3\nu(I - I_b), \quad (7)$$

где x, y, z — координаты вдоль длины, ширины и высоты помещения соответственно, м; β — интегральный коэффициент ослабления излучения, $1/\text{м}$; ν — интегральный коэффициент излучения, $1/\text{м}$; $I_b = \sigma T^4$ — интенсивность излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт}/\text{м}^2$; σ — постоянная излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; T — температура, К.

Локальные значения коэффициентов излучения и поглощения радиационной энергии определяются с помощью локальных величин оптической плотности дыма [3].

Реакция горения рассматривается как одноступенчатая и необратимая:



где F, O, P — продукты газификации горючего материала, окислитель (кислород воздуха) и продукты реакции соответственно; s — коэффициент.

Скорость реакции (8) с учетом влияния на нее турбулентности (диффузионно-вихревая модель) равна

$$G_r = \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left\{ 4X_{pb}; 4\frac{X_o}{s}; 2\frac{X_{pg}}{s+1} \right\}, \quad (9)$$

где G_r — массовая скорость реакции в единице объема газовой среды, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$; ε — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности, $\text{м}^2/\text{с}^3$; k — кинетическая энергия турбулентности, $\text{м}^2/\text{с}^2$; X_{pb}, X_o, X_{pg} — массовая концентрация продуктов горения, кислорода и продуктов газификации горючего материала соответственно.

Начальные и граничные условия подробно приведены в [3].

Уравнения (5) и (7) решаются методом контрольных объемов [6] по неявной конечно-разностной схеме на равномерной шахматной сетке.

Исходные данные для численных экспериментов. Рассматриваем МЗ в форме параллелепипеда размерами $264 \times 28 \times 20$ м с механическим дымоудалением и без механического дымоудаления.

Свойства пожарных нагрузок принимались по типовой базе горючей нагрузки [12]: здания I ст. огнестойкости: низшая рабочая теплота сгорания $Q_n^p = 14,7$ МДж/кг; удельная скорость выгорания $\psi_{уд} = 0,0145$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; потребление кислорода при горении $L_{O_2} = -1,437$; выделение окиси углерода $L_{CO} = 0,0022$; вы-

деление двуокси углерода $L_{CO_2} = 1,285$; удельное выделение хлористого водорода $L_{HCl} = 0,014$; удельное дымовыделение $W_{уд} = 270$ Нп·м²/кг; скорость распространения пламени $w_{пл} = 0,0108$ м/с;

упаковка (бумага + картон + поли (этилен + стирол)): $Q_H^p = 23,54$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,0132$ кг/(м²·с); $L_{O_2} = -1,7$; $L_{CO} = 0,112$; $L_{CO_2} = 0,679$; $L_{HCl} = 0,0037$; $W_{уд} = 172$ Нп·м²/кг; $w_{пл} = 0,004$ м/с;

теплоноситель; турбинное масло ТП-22: $Q_H^p = 41,9$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,03$ кг/(м²·с); $L_{O_2} = -2,82$; $L_{CO} = 0,122$; $L_{CO_2} = 0,70$; $L_{HCl} = 0$; $W_{уд} = 243$ Нп·м²/кг;

кабельный подвал/лоток; кабели АВВГ + АПВГ: $Q_H^p = 30,7$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,0244$ кг/(м²·с); $L_{O_2} = -2,19$; $L_{CO} = 0,1295$; $L_{CO_2} = 0,65$; $L_{HCl} = 0,0202$; $W_{уд} = 521$ Нп·м²/кг; $w_{пл} = 0,0071$ м/с;

кабели + провода; 0,75 (АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25 (КПРТ, ПР, ШРПС): $Q_H^p = 33,5$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,0622$ кг/(м²·с); $L_{O_2} = -2,389$; $L_{CO} = 0,099$; $L_{CO_2} = 0,655$; $L_{HCl} = 0,014$; $W_{уд} = 612$ Нп·м²/кг; $w_{пл} = 0,0054$ м/с.

Результаты численного эксперимента и их анализ. Экспертиза эвакуационных путей и выходов показала, что параметры эвакуационных путей и выходов не в полном объеме соответствуют требованиям нормативных документов.

Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в продольном сечении машинного зала, проходящем через место возгорания, через 15 мин. от начала пожара представлены на рис. 1 (горение упаковки на ремонтной площадке).

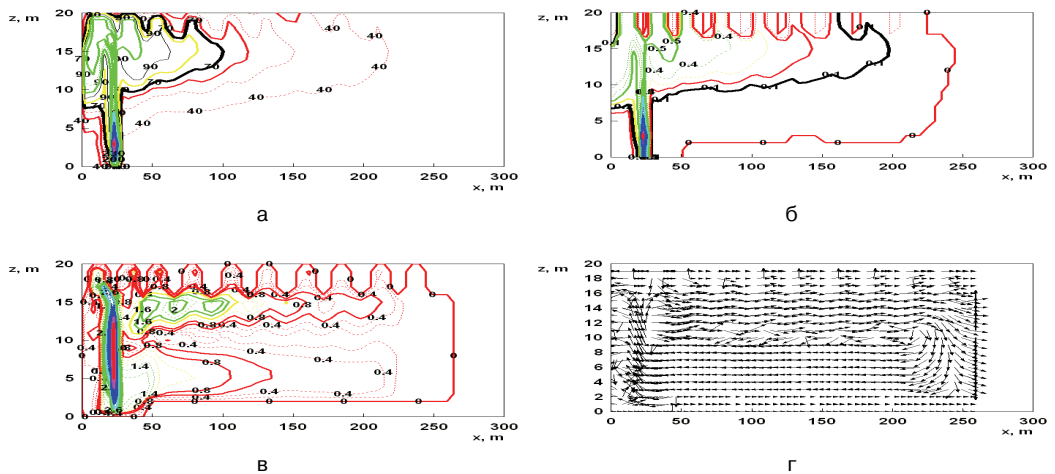


Рис. 1. Поля температур (а), оптической плотности дыма (б), скоростей (в) и схемы течения (г) в продольном сечении машинного зала, проходящем через место возгорания упаковки, через 15 мин. от начала пожара

Поля дальности видимости в газовой среде машинного зала в плоскости, параллельной полу, на высоте рабочей зоны 2 м через 15 (а) и 20 мин. (б) от начала горения приведены на рис. 2 (упаковка) и рис. 3 (турбинное масло).

Зависимости высоты нижней границы задымленного нагретого припотолочного слоя газов от времени с начала пожара, полученные с использованием зонной модели при различных пожарных нагрузках, показаны на рис. 4.

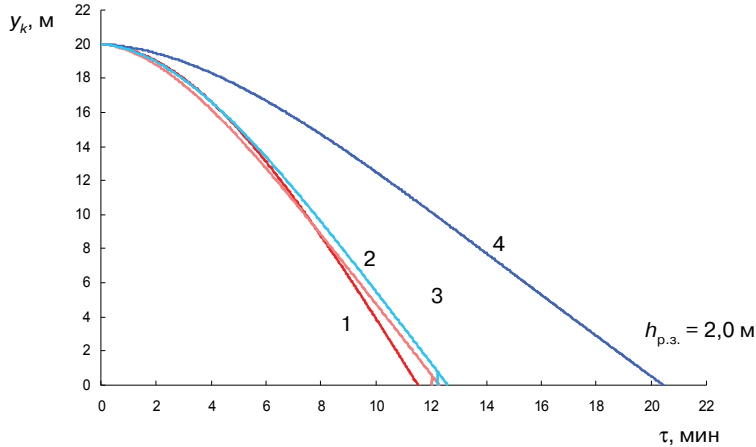


Рис. 2. Зависимость высоты нижней границы (y_k) задымленного нагретого припотолочного слоя газов от времени с начала пожара с использованием зонной модели при различных пожарных нагрузках:

- 1 — здания I ст. огнестойкости; 2 — кабельный подвал/лоток;
- 3 — кабели + провода; 4 — упаковка

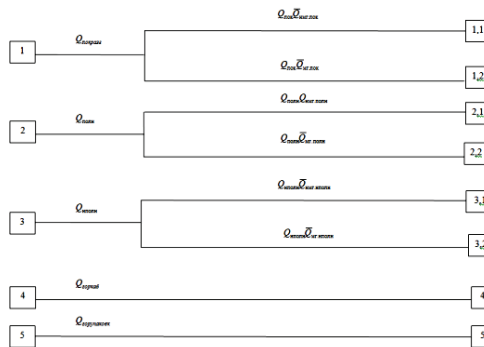


Рис. 3. Структурно-логическая схема развития аварии и пожара в производственном здании ГЭС

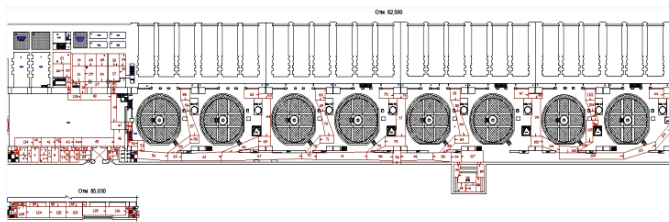


Рис. 4. Схемы движения людских потоков:

- а — МЗ; б — кабельный тоннель на отметке +74.0

Результаты проверки выполнения условия безопасной эвакуации людей из машинного зала представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты проверки выполнения условия безопасной эвакуации людей из машинного зала ГЭС

Горючая нагрузка	Критическая продолжительность пожара, с						Необходимое время эвакуации		Расчетное время эвакуации, мин.	Результаты проверки
	по потере видимости	по повышенной температуре	по пониженному содержанию O ₂	по повышенному содержанию СО	по повышенному содержанию СО ₂	по повышенному содержанию HCl	с	мин.		
Здания I ст. огнестойкости	290,3	646,5	1002,7	—	—	431,9	232,24	3,87	9,18	Н/С
	597,0 ³	—	—	—	—	—	477,6 ³	7,96 ³		Н/С
	963,0 ^{3N}	963,0 ^{3N}	—	—	—	—	770,4 ^{3N}	12,84 ^{3N}		С
Упаковка	678,5	1105,6	1617,8	1856,4	—	1442,3	542,8	9,046		Н/С
	1025,0 ³	—	—	—	—	—	820,0 ³	13,67 ³		С
	1462,0 ^{3N}	1462,0 ^{3N}	—	—	—	—	1169,6 ^{3N}	19,49 ^{3N}		С
	1113 ^П	1236 ^П	—	1146 ^П	—	—	890,4 ^П	14,84 ^П		С
Турбинное масло ТП-22	24,4 ⁶⁷	83,1 ⁶⁷	185,8 ⁶⁷	—	—	—	19,5 ⁶⁷	0,325 ⁶⁷		Н/С
	156,7 ¹⁰	534,5 ¹⁰	1194,3 ¹⁰	—	—	—	125,4 ¹⁰	2,09 ¹⁰		Н/С
	864,0 ^{3,10}	1491,6 ^{3,10}	—	—	—	—	164,4 ^{3,67}	2,74 ^{3,67}		Н/С
	205,5 ^{3,67}	205,5 ^{3,67}	—	—	—	—	691,2 ^{3,10}	11,52 ^{3,10}		С
	380,5 ^{3N,67}	380,5 ^{3N,67}	—	—	—	—	304,3 ^{3N,67}	5,07 ^{3N,67}		Н/С
	1330,5 ^{3N,10}	1330,5 ^{3N,10}	—	—	—	—	1064,4 ^{3N,10}	17,74 ^{3N,10}		С
528 ^{П,10}	1107 ^{П,10}	—	882 ^{П,10}	—	—	422,4 ^{П,10}	7,04 ^{П,10}	Н/С		
Кабельный подвал/лоток	259,4	562,4	821,5	1020,5	—	427,2	207,5	3,46		Н/С
	642,0 ³	—	—	—	—	—	513,6 ³	8,56 ³		Н/С
	855,0 ^{3N}	855,0 ^{3N}	—	—	—	—	684,0 ^{3N}	11,4 ^{3N}		С
Кабели + провода	215,9	480,0	701,0	—	—	428,4	172,7	2,88		Н/С
	621,5 ³	621,5 ³	—	—	—	—	497,2 ³	8,29 ³		Н/С
	729,0 ^{3N}	729,0 ^{3N}	—	—	—	—	583,2 ^{3N}	9,72 ^{3N}		С

Примечания: С — выполнение условия безопасной эвакуации выполняется; Н/С — выполнение условия безопасной эвакуации не выполняется; ^И — расчет по интегральной модели (параграф 1.2); ³ — расчет по зонной модели (параграф 1.3; формула (1.23)); ^{3N} — расчет по зонной модели (параграф 1.3; формулы (1.40) и (1.41)); ^П — расчет с использованием полевой модели (параграф 1.4); без сноски — по формулам аналитического решения (параграф 1.1) (при высоте помещения, большей 6 м, принимаем высоту помещения равной 6 м); ¹⁰ — площадь разлива турбинного масла равна 10 м²; ⁶⁷ — площадь разлива турбинного масла равна 67 м².

Из табл. 1 видно, что условие безопасной эвакуации людей не выполняется при горении всех видов пожарных нагрузок.

Расчет индивидуального пожарного риска в МЗ ГЭС. В расчетах принято: $Q_{ав} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ — частота возникновения пожара в здании электростанции [8]; $Q_{лок} = 4,7 \cdot 10^{-7}$ — частота локальной разгерметизации маслопровода; $Q_{полн} = 5,0 \cdot 10^{-6}$ — частота полного разрушения емкости с маслом; $Q_{неполн} = 8,8 \cdot 10^{-5}$ — частота неполного разрушения емкости с маслом; $Q_{гор кабелей} = 2,7 \cdot 10^{-5}$ — частота возникновения пожара кабелей в машинном зале ГЭС; $Q_{гор упаковки} = 1,2 \cdot 10^{-5}$ — частота возникновения пожара упаковки в машинном зале ГЭС [10]; $Q_{мг} = 0,015$ — условная вероятность мгновенного воспламенения масла при разгерметизации маслопровода или емкости с маслом [20]; $Q_{нмг} = 0,015$ — условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения масла при разгерметизации маслопровода или емкости с маслом [8].

В производственном здании предусматривается система пожарной сигнализации (вероятность эффективной работы при отсутствии статистических данных равна 0,8), система оповещения и управление эвакуацией людей при пожаре (вероятность эффективной работы 0,8), автоматическая установка водяного пожаротушения (вероятность эффективной работы 0,9) предусмотрена только в кабельных галереях.

Величины индивидуального пожарного риска R_i (год^{-1}) в производственном здании ГЭС с учетом дымоудаления и без учета дымоудаления представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Величины индивидуального пожарного риска в производственном здании ГЭС без учета работы системы дымоудаления

Иницирующие пожароопасную ситуацию события	Вероятность присутствия людей q	Величины индивидуального пожарного риска R_i (год^{-1})	
		кабельные галереи	машинный зал
Локальная разгерметизация маслопровода (площадь разлива 10 м^2)	1	$1,37 \cdot 10^{-9}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$
Полное разрушение емкости с маслом (площадь разлива 60 м^2)	1	$1,40 \cdot 10^{-8}$	$5,23 \cdot 10^{-8}$
Неполное разрушение емкости с маслом (площадь разлива 10 м^2)	1	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$9,2 \cdot 10^{-7}$
Горение кабелей в кабельных галереях ГЭС	1	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$
Горение упаковки в машинном зале ГЭС	1	$4,64 \cdot 10^{-6}$	$3,09 \cdot 10^{-5}$

Величины индивидуального пожарного риска в помещении машинного зала здания с учетом работы системы противодымной защиты

Иницирующие пожароопасную ситуацию события	Вероятность присутствия людей q	Величины индивидуального пожарного риска R_i (год ⁻¹)	
		кабельные галереи	машинный зал
Локальная разгерметизация маслопровода (площадь разлива 10 м ²)	1	$4,93 \cdot 10^{-13}$	$1,77 \cdot 10^{-12}$
Полное разрушение емкости с маслом (площадь разлива 60 м ²)	1	$5,25 \cdot 10^{-12}$	$1,88 \cdot 10^{-11}$
Неполное разрушение емкости с маслом (площадь разлива 10 м ²)	1	$9,24 \cdot 10^{-11}$	$3,31 \cdot 10^{-10}$
Горение кабелей в кабельных галереях ГЭС	1	$3,75 \cdot 10^{-6}$	$2,51 \cdot 10^{-5}$
Горение упаковки в машинном зале ГЭС	1	$1,67 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-5}$

Нормативные значения пожарного риска на производственных объектах определяются ст. 93 (п. 3) ФЗ № 123.

Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях, строениях производственных объектов не должна превышать $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

Для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска, равной $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до $1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Результаты расчета величины индивидуального пожарного риска в МЗ и кабельных галереях показали, что расчетные значения индивидуального пожарного риска не превышают нормативного значения $1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹, как в случае использования механического дымоудаления, так и в случае его отсутствия.

Однако условие безопасной эвакуации людей выполняется только при наличии системы механического дымоудаления (см. табл. 1).

Таким образом, выявлен случай, при котором величина индивидуального пожарного риска удовлетворяет нормативному значению $1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹, но условие безопасной эвакуации людей, находящихся в машинном зале или в кабельных галереях ГЭС, не выполняется. Также анализ статистических данных определяет наиболее вероятной причиной пожара на ГЭС — короткое замыкание. При этом максимальное значение пожарного риска получено для сценария — горение кабелей. Приведенные данные позволяют сделать вывод о необходимости изолировать кабельные галереи в целях повышения уровня пожарной безопасности зданий ГЭС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ФЗ № 123. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. — 156 с.
- [2] Нгуен Т.Х. Методика расчета необходимого времени эвакуации людей при пожаре в машинных залах ГЭС Вьетнама в условиях работы системы дымоудаления: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — М.: Академия ГПС МВД России, 2010.

- [3] *Пузач С.В.* Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при практических задачах пожаровзрывобезопасности. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2005.
- [4] ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — М.: Госстандарт России, 1992. — 78 с.
- [5] *Пузач С.В.* Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в атриуме / С.В. Пузач, Е.С. Абакумов // *Инженерно-физический журнал*. — 2007. — Т. 80, № 2. — С. 84—89.
- [6] *Патанкар С.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М: Энергоатомиздат, 1984.
- [7] Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382.
- [8] Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приложение к приказу МЧС России от 10.07.2009 № 404.
- [9] *Есин В.М.* Введение к каталогу № 3 ООО «ВЕЗА». Вып. 1. — М.: ООО «ВЕЗА», 2003.
- [10] Методические рекомендации по анализу и оценке уровня материального, индивидуального и социального риска пожара для промышленных зданий и помещений. — Москва: ВНИИПО, 1996.
- [11] *Пузач С.В.* Расчет скорости опускания нижней границы припотолочного слоя при пожаре в атриуме / С.В. Пузач, Е.С. Абакумов, Нгуен Тхань Хай // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 31—36.
- [12] *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000.
- [13] *Астапенко В.М.* Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский [и др.]. — М.: Стройиздат, 1986.
- [14] *Присадков В.И.* Численные методы исследования пожарной опасности атриумов / В.И. Присадков, В.В. Лицкевич, А.В. Федоринов // *Пожарная безопасность*. — 2002. — № 2.
- [15] *Драйздел Д.* Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1988.
- [16] *International Building Code*. — International Code Council, 2003.

CALCULATION OF FIRE RISK IN TURBINE ROOMS OF HYDRO POWER PLANTS

**S.V. Puzach, O.S. Lebedchenko, E.S. Abakumov,
S.I. Naumenko, V.G. Pluschikov, Yu.G. Fominyh**

Results of numerical experiments on the fire spread in turbine room of hydro power plant using integral, area-based and field-type models for heat exchange calculations are presented. Calculation of potential, individual and social fire risks is made according to the current regulations. It is shown that in case of failure conditions for people safe evacuation, value of fire risk in some cases may be equal to the normative one. However condition for people safe evacuation is met only in the presence of mechanical smoke extraction system.

Key words: fire, accident, hydro power plant, heat exchange, optical density of smoke, gas environment.