

УДК 699.941, 624.07, 699.81

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-49-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-49-60)

EDN: GBCSPI

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕОБХОДИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОМЕЩЕНИЙ АЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРА

Д.И. ПУЦЕВ¹, д-р техн. наук

С.Ю. МИШИНА²

Ю.М. ГРОШЕВ², канд. техн. наук

¹ ООО «Научно-технический центр «Промышленная и пожарная безопасность» (ООО «НТЦ ППБ»), ул. Свердлова, д. 65, офис 5, г. Балашиха, 143900, Российская Федерация

² АО «Атомэнергoproект», Бакунинская ул., д. 7, стр. 1, г. Москва, 107996, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В данной статье представлен методический подход к обоснованию мероприятий по обеспечению необходимых пределов огнестойкости ограждающих конструкций помещений АЭС с применением полевого моделирования пожара. Подходы к обоснованию пожарной безопасности рассмотрены на примере помещения промсклада топлива резервной дизельной электростанции АЭС.

Цель работы: разработка и детальная проработка методического подхода к обоснованию мероприятий по обеспечению необходимых пределов огнестойкости ограждающих конструкций помещений АЭС с применением полевого моделирования пожара.

Материалы и методы. Проведен анализ назначения и области применения различных методов моделирования динамики развития и распространения опасных факторов пожара. Моделирование пожара для обоснования мероприятий по обеспечению необходимых пределов огнестойкости ограждающих конструкций рассмотрено на примере помещения промсклада топлива резервной дизельной электростанции АЭС.

Результаты. На основании проведенного анализа различных методов моделирования динамики развития и распространения опасных факторов пожара показана возможность использования различных методов моделирования пожара при анализе пожарной опасности зданий и помещений. Были проведены расчеты и проанализированы полученные результаты для наиболее опасных сценариев развития пожара на примере конкретного типичного помещения АЭС, относящегося к системе аварийного снабжения АЭС. Были учтены требования по резервированию данных систем для обеспечения устойчивости к отказам в системах при технологических отказах и внешних воздействиях на эти системы.

Выводы. Полевой метод является наиболее универсальным из существующих детерминистических методов, поэтому он широко может использоваться для определения/уточнения требований к огнестойкости несущих и ограждающих конструкций помещений АЭС. Применение полевой модели динамики пожара для проведения расчетов опасных факторов пожара возможно в различных зданиях и помещениях. Особенно эффективно применение полевой модели динамики пожара подходит для обоснования достаточности предъявляемых требований по огнестойкости строительных конструкций исходя из обеспечения нераспространения пожара за пределы пожарной зоны в течение расчетного времени выгорания всей

пожарной нагрузки. Полученные закономерности могут быть использованы при разработке/уточнении нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности действующих и строящихся АЭС.

Ключевые слова: полевой метод моделирования пожара, огнестойкость ограждающих конструкций, комплекс программного обеспечения

Для цитирования: Пуцев Д.И., Мишина С.Ю., Грошев Ю.М. Обоснование мероприятий по обеспечению необходимых пределов огнестойкости ограждающих конструкций помещений АЭС с применением полевого моделирования пожара. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;40(1):49–60. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-49-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-49-60)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ООО «НТЦ ППБ» и АО «Атом-энергопроект», Москва.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.01.2024

Поступила после рецензирования 16.02.2024

Принята к публикации 22.02.2024

JUSTIFICATION OF MEASURES AIMED AT ENSURING THE REQUIRED FIRE RESISTANCE OF STRUCTURES ENCLOSING NPP PREMISES USING CFD FIRE MODELING

D.I. PUTSEV¹, Dr. Sci. (Engineering)

S.Yu. MISHINA²

Yu.M. GROSHEV^{2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

¹Scientific and Technical Centre "Industrial and Fire Safety", Sverdlova str., 65, office 5, Balashikha, 143900, Russian Federation

²JSC Atomenergoproekt, Bakuninskaya str., 7, bld. 1, Moscow, 107996, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article presents a methodological approach to justifying measures designed to ensure the required fire resistance of structures enclosing NPP premises with the use of CFD (computational fluid dynamics) fire modeling. Approaches to justifying fire safety are considered using the fuel storage facility of an NPP standby diesel power plant as an example.

Aim. To develop and analyze the methodological approach to justifying measures designed to ensure the required fire resistance of structures enclosing NPP premises with the use of CFD fire modeling.

Materials and methods. The purpose and application scope of various methods for modeling fire dynamics was analyzed. Fire modeling used to justify measures for ensuring the required fire resistance of enclosing structures was considered using the fuel storage facility of an NPP standby diesel power plant as an example.

Results. The performed analysis of different methods for modeling fire dynamics shows the possibility of using different fire simulation methods in the analysis of the fire hazard of buildings and facilities. The most dangerous fire development scenarios were modeled and the obtained results were analyzed on the example of a specific typical NPP facility in the NPP emergency power supply system. The redundancy requirements

for these systems were taken into account to ensure tolerance to system failures in case of process failures and external effects on these systems.

Conclusion. Since the CFD method is the most universal of the existing deterministic methods, it can be widely used to determine/revise the requirements for fire resistance of load-bearing and enclosing structures at NPP premises. It is possible to apply CFD-based fire modeling for the fire hazard of various buildings and facilities. This model is particularly effective in justifying the sufficiency of fire resistance requirements established for structures to prevent the spread of fire beyond the fire zone within the estimated burnout time of the entire fire load. The obtained regularities can be used in the development/revision of regulatory documents on fire safety at operating NPPs and NPPs under construction.

Keywords: CFD fire modeling, fire resistance, enclosing structures, software package

For citation: Putsev D.I., Mishina S.Yu., Groshev Yu.M. Justification of measures aimed at ensuring the required fire resistance of structures enclosing NPP premises using CFD fire modeling. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;40(1):49–60. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-49-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-49-60)

Author contribution statements

All the authors have contributed equally to the publication.

Funding

The study was supported by VNIPO EMERCOM of Russia, Scientific and Technical Centre “Industrial and Fire Safety”, and JSC Atomenergoproekt (Moscow).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.01.2024

Revised 16.02.2024

Accepted 22.02.2024

Введение

Для проведения расчета динамики скорости развития и возможных режимов пожара, определения требований к безопасным расстояниям и пределам огнестойкости огнепреграждающих конструкций российскими нормами предусмотрено применение расчетных и экспериментальных методов. В последние годы у нас в стране и за рубежом большое внимание уделяется развитию расчетных методов оценки огнестойкости. Сущность расчета в общем виде сводится к оценке распределения температур по сечению конструкции в условиях пожара (теплотехническая часть) и вычислению несущей способности нагретой конструкции (статическая часть). Однако теория огнестойкости строительных конструкций еще недостаточно разработана, поэтому даже опытному конструктору нелегко спроектировать нужную по качеству огнезащиту силовых элементов конструкций.

Целью статьи является анализ особенностей расчета пределов огнестойкости строительных конструкций основных зданий АЭС с учетом различий в объемно-планировочных и конструктивных решениях, а также специфики находящейся в зданиях горючей нагрузки. Для этого были проведены расчеты и проанализированы полученные результаты для наиболее опасных сценариев развития пожара на примере конкретного помещения АЭС, относящегося к системе аварийного электроснабжения (далее – САЭ), с учетом требования по резервированию данных систем для обеспечения устойчивости к отказам в системах при технологических отказах и внешних воздействиях на эти системы.

С целью выполнения данного требования предусматриваются:

- 1) дублирование элементов САЭ, выполняемое по канальному принципу, предусматривающему создание нескольких независимых каналов;
- 2) обеспечение физического разделения оборудования различных каналов при аварийных ситуациях, в том числе при пожарах.

Таким образом, аналитическое обоснование достаточности физического разделения каналов и разработка строительных, технологических и противопожарных мероприятий при пожарах на резервных дизельных электростанциях (далее – РДЭС) направлены на обеспечение ядерной и радиационной безопасности. При этом значительные запасы топлива в хранилищах требуют применения разработки специализированных мероприятий с учетом высокой интенсивности воздействия углеводородных пожаров на конструкции и больших величин пожарной нагрузки в помещениях хранилищ.

Подходы к обоснованию безопасности в настоящей статье будут рассмотрены на примере помещения промсклада топлива РДЭС блока № 1 Калининской АЭС.

Исходные данные по зданию и железобетонным конструкциям промежуточного склада топлива Калининской АЭС блока № 1:

- класс безопасности задания по НП-001-15 – 2;
- категория ответственности за ядерную безопасность по ПиН АЭ-5.6 – I;
- класс конструктивной пожарной ответственности – СО;
- класс функциональной пожарной опасности – Ф5.2;
- марка бетона – В25;
- класс арматуры – АIII (А400);
- защитный слой до грани арматурного стержня – 30 мм;
- толщина несущих стен из монолитного железобетона – 250 мм;
- толщина перекрытий из монолитного железобетона – 400 мм.

В помещении установлен промежуточный бак топлива емкостью 100 м³.

При расчетах используются следующие предположения условий пожара ГЖ:

- круговая модель распространения пожара. В качестве линейной скорости распространения пожара принята скорость распространения пламени по поверхности жидкости;
- скорость выгорания и удельная теплота сгорания приняты для дизельного топлива ЕВРО, сорт С, ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) [1].

При анализе предполагалось несрабатывание системы пожаротушения вследствие отказа. При этом предполагается нормальная работа других независимых элементов противопожарной защиты, в том числе закрытое состояние дверей.

Расчеты выполняются для условно герметичных помещений. Такой режим пожара реализуется при двух условиях (ранее рассмотренное предположение условной герметичности помещения).

1. Пожар протекает при давлении, близком к давлению в соседних помещениях и окружающей среде, несмотря на интенсивный рост температуры (и давления в начале пожара) вследствие выдавливания или открытия заполнения проемов в помещениях.
2. Через вскрывшиеся проемы не происходит двустороннего газообмена (одновременного выхода продуктов горения и поступления кислорода окружающего воздуха).

Расчеты проводятся с использованием математической модели и программного кода Fire Dynamics.

Методики расчета локальных параметров пожара

Для описания термогазодинамических параметров пожара применяются три основные группы детерминистических моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Выбор конкретной модели расчета времени блокирования путей эвакуации следует осуществлять исходя из следующих предпосылок:

а) интегральный метод:

– для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

– для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз);

– для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара.

б) зонный (зональный) метод:

– для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз).

В отличие от интегральных моделей зональный метод может использоваться для помещений большого объема, когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения; для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т. д.).

в) полевой метод:

– для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т. д.);

– для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т. д.);

– для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т. д.).

Для определения фактических пределов огнестойкости строительных конструкций использовалась математическая модель расчета прогрева строительных конструкций.

Плотность теплового потока на внешней (огневой) границе стенки определяется из решения моделей пожара или по формулам расчета лучистого теплового потока.

За наступление предела огнестойкости строительной конструкции перехода принимается момент времени от начала пожара, когда температура хотя бы в одном месте конструкции достигает критического значения.

Таким образом, в случаях, когда требуется рассчитать локальные параметры развития пожара или применение строительных конструкций не позволяет использовать эмпирические или среднеобъемные модели для расчета динамики пожара, используется созданная во ФГБУ ВНИИПО МЧС России полевая модель. Это относится, прежде всего, к расчетам пожара в больших помещениях, помещениях с неравномерно распределенной пожарной

нагрузкой и сложным режимом газообмена, к задаче определения безопасных расстояний для оборудования систем безопасности. Данная модель создана с учетом требований и рекомендаций по применению методов полевого моделирования и предусматривает решение системы уравнений газодинамики и теплообмена с учетом моделирования процессов горения и переноса тепла излучением.

При расчетах использовались программы, официально зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара – № 2006614238. Определение огнестойкости строительных конструкций с учетом параметров реального пожара – № 2006614237).

Критерии устойчивости конструкций к воздействию ОФП

В качестве критериев критического воздействия пожара на железобетонные конструкции приняты:

- 1) прогрев защитного слоя бетона до арматуры со стороны пожара до 500 °С. Критерий соответствует потере расчетного запаса прочности конструкции в зоне растяжения вследствие снижения предела прочности арматуры при прогреве;
- 2) прогрев необогреваемой стороны конструкции до 180 °С (с учетом расчета средних значений по нормальному сечению со стороны пожара).

Результаты расчета для помещений топливных баков

Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 1–6) и в табл. 1.

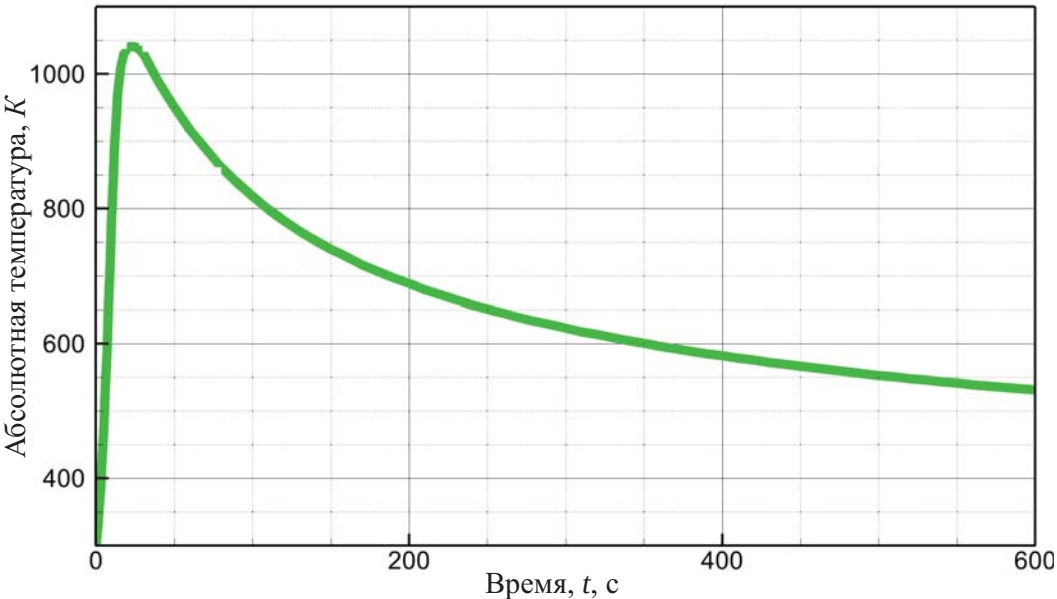


Рис. 1. Динамика среднеобъемной абсолютной температуры при пожаре в помещении бака, K
Fig. 1. Dynamics of volume-averaged absolute temperature in case of fire in the tank room, K

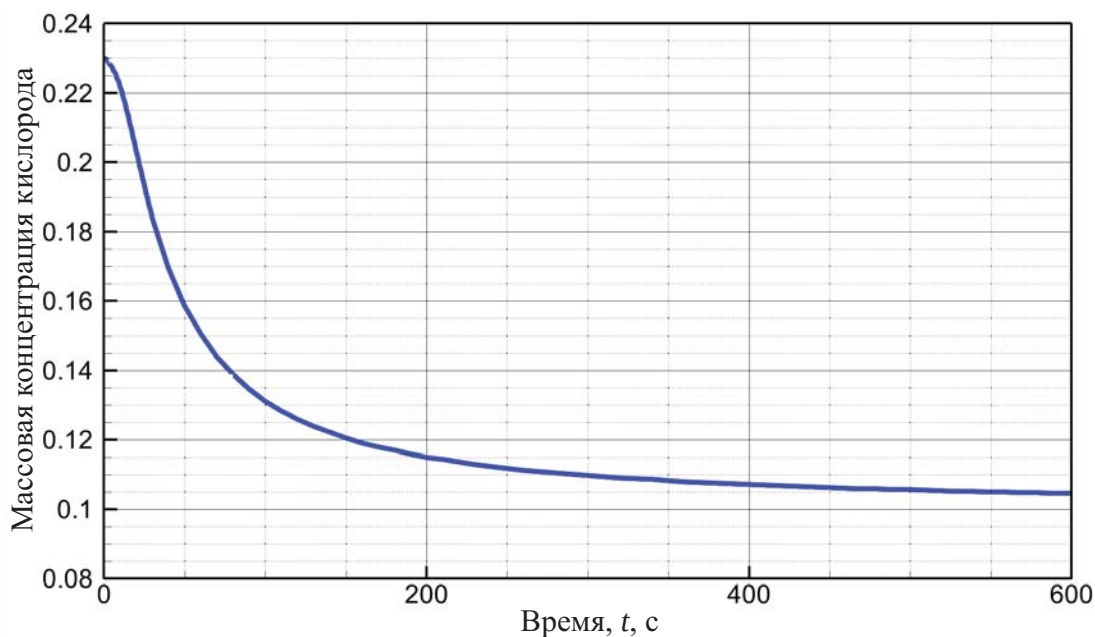


Рис. 2. Динамика изменения массовой концентрации кислорода
Fig. 2. Dynamics of oxygen mass concentration

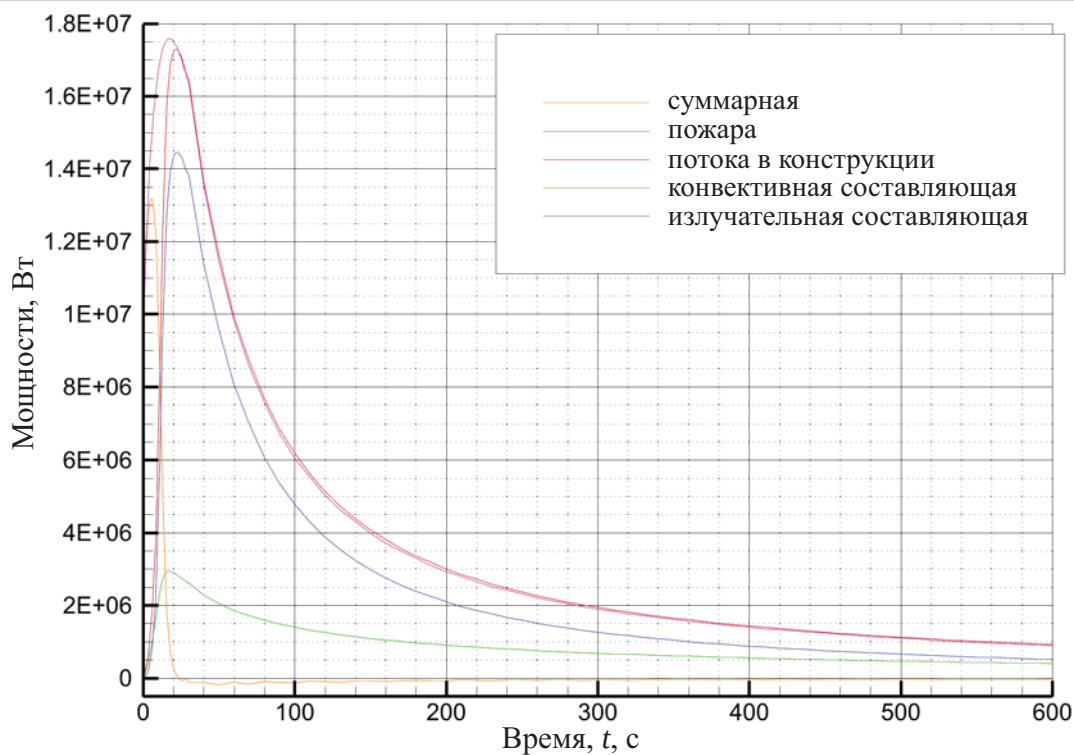


Рис. 3. Динамика изменения мощности энергетических потоков, Вт
Fig. 3. Dynamics of power flow capacity, W

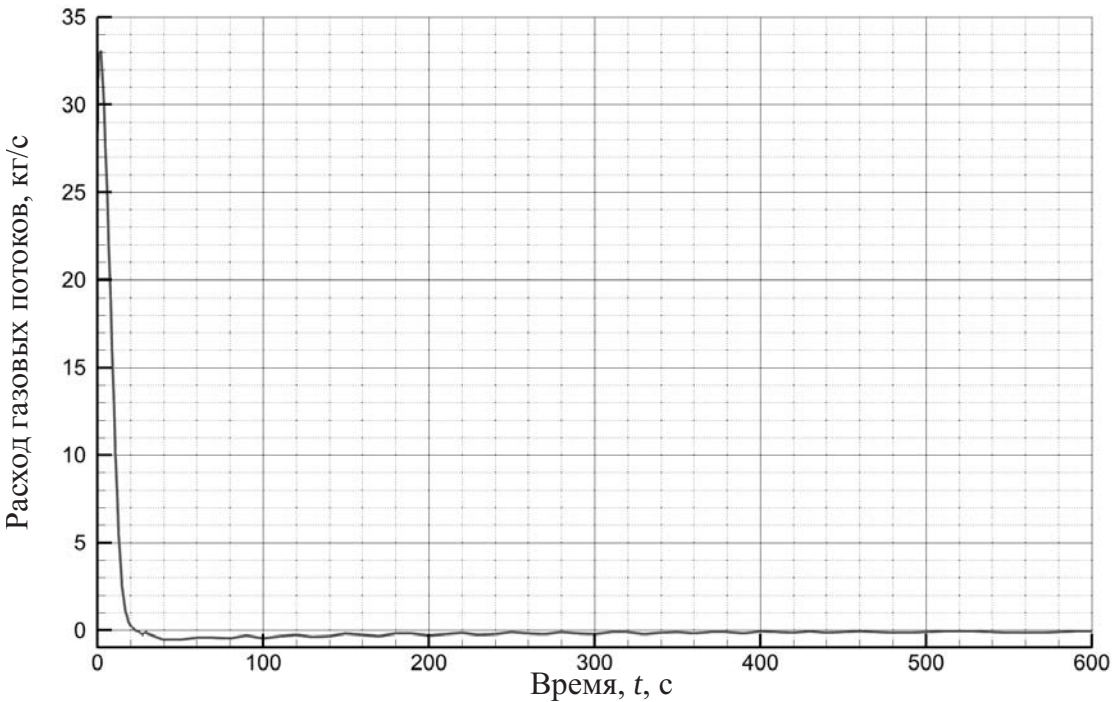


Рис. 4. Расход выходящего (входящего) через неплотности газового потока, кг/с
Fig. 4. Leak rate of outgoing (incoming) gas flow, kg/s

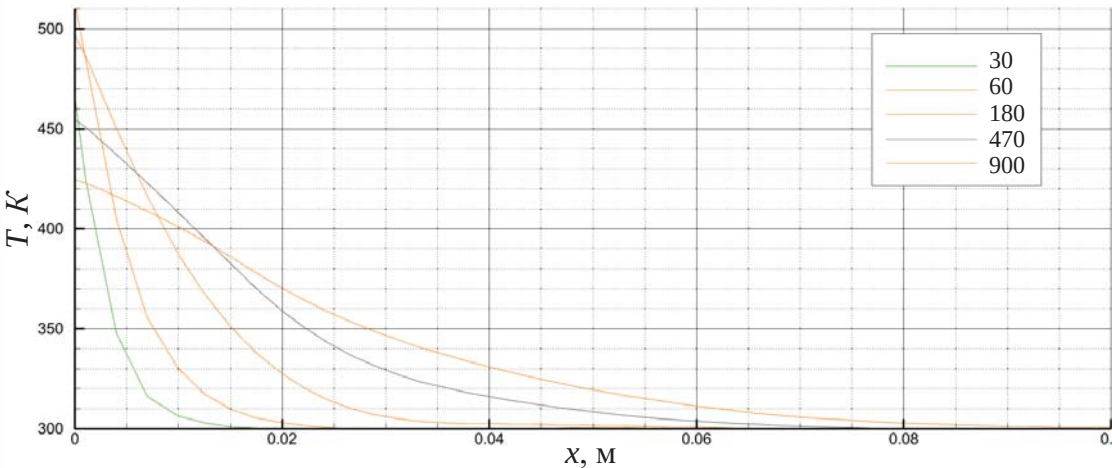


Рис. 5. Динамика распределения абсолютной температуры по сечению стены, K, время от начала пожара, с.
Слой со стороны обогреваемой поверхности
Fig. 5. Dynamics of absolute temperature distribution across the wall cross-section, K, time from fire outbreak, s. Layer on the heated surface side

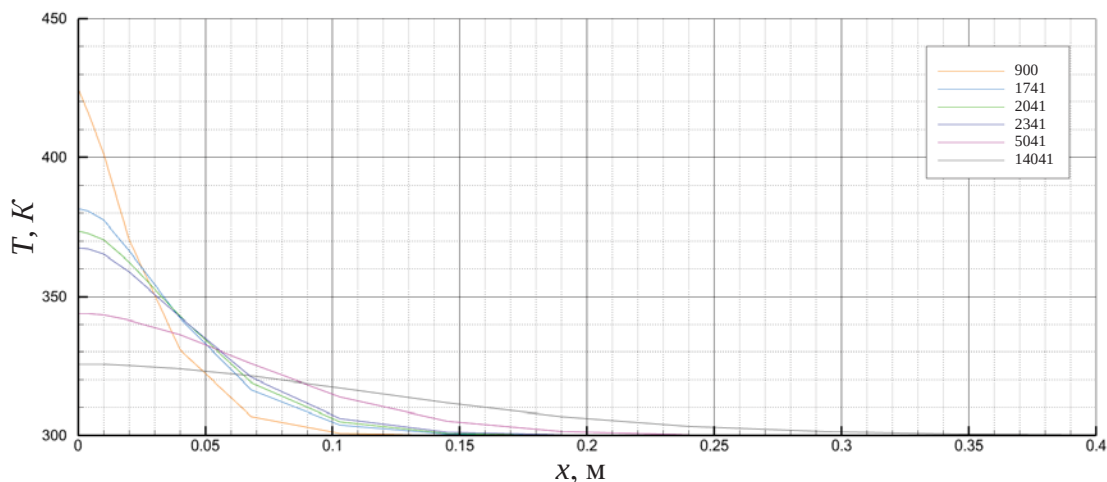


Рис. 6. Динамика распределения абсолютной температуры по сечению стены, К, время от начала пожара, с.
 Полное сечение стены конструкции стены
Fig. 6. Dynamics of absolute temperature distribution across the wall cross-section, K, time from the fire outbreak, s.
 Total cross-section of the wall structure

Таблица 1

Характерные величины термического воздействия ОФП на стеновые конструкции помещения топливного бака

Table 1

Characteristic thermal impact of dangerous fire factors on the fuel tank room walls

Наименование помещения	Категория	Максимальная температура поверхности, К	Время достижения максимальной температуры поверхности, с	Максимальная температура на глубине защитного слоя (30 мм), К	Время достижения максимальной температуры защитного слоя, с
Помещение бака топлива	В1	518	79	356	1632

Анализ результатов расчетов

Из результатов расчетов для помещения следует:

1. Наблюдается резкий рост среднеобъемной температуры в помещении вследствие быстрого распространения пламени по поверхности топлива и интенсивного возрастания площади горения. Максимальная температура достигается примерно через 25 секунд после начала пожара (рис. 1).
2. Максимальная избыточная температура ~1050 К – значительно ниже максимального значения температуры пламени при пожарах нефтепродуктов ~1380 °С (1650 К). В случае герметичности помещения давление за такой период времени возросло не менее чем в 3,6 раза (до 2,6 избыточной атмосферы).
3. После 25 секунд пожара начинается снижение среднеобъемной температуры вследствие снижения интенсивности пожара из-за уменьшения концентрации кислорода (рис. 2).

С этого момента теплотери в конструкции превышают мощность пожара, суммарная тепловая мощность для среды помещения становится отрицательной (рис. 3). Начинается остывание среды в помещении.

4. При остывании среды происходит приток свежего воздуха через неплотности, открытые или разгерметизированные заполнения проемов. Приток воздуха уменьшает интенсивность снижения мощности пожара, хотя общая мощность пожара продолжает снижаться. Мощность пожара и приток воздуха переходят при остывании в пульсирующий режим: приток – увеличение мощности/снижение притока – падение мощности после выгорания поступившего кислорода – остывание/увеличение притока (рис. 4). Данный пульсирующий режим неоднократно наблюдался при реальных пожарах и натурных экспериментах. Учет участия в горении кислорода из притока на фазе остывания имеет принципиальное значение при расчете динамики изменения параметров среды на стадии остывания.

5. На графиках (рис. 5–6) представлена динамика распределения температуры по сечению окружающих железобетонных конструкций стен помещения бака. Расчет показывает характерную особенность прогрева – прогрев тонкого слоя конструкции во время пожара и последующее распространение тепловой волны (распределение накопленного тепла) по толщине конструкции.

6. Максимальная избыточная температура прогрева поверхности стены 218°C достигается через 79 секунд после начала пожара (рис. 6, табл. 1).

7. Максимальная избыточная температура на глубине защитного слоя (30 мм от обогреваемой поверхности) 56°C достигается через 1632 секунд после начала пожара (рис. 6). Таким образом, с запасом выполнены определенные ранее требования к огнестойкости на основе выполнения 1-го критерия – прогрев защитного слоя и 2-го критерия – максимальная температура на необогреваемой стороне.

8. В предположении защитного слоя железобетонной конструкции не менее 15 мм для конструкции с REI60: максимальная избыточная температура защитного слоя $\sim 90^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). Для условной железобетонной строительной конструкции с REI60 также выполняются критерии 1 и 2 прогрева защитного слоя и необогреваемой стороны. Таким образом, требуемый предел огнестойкости – не более 60 мин.

Заключение

1. Применение полевой модели динамики пожара Fire Dynamics позволяет обосновать достаточность принятых пределов огнестойкости строительных конструкций зданий и помещений исходя из обеспечения нераспространения пожара за пределы пожарной зоны в течение расчетного времени свободного выгорания всей пожарной нагрузки. Описан методический подход к определению требований к огнестойкости несущих и ограждающих конструкции помещений АЭС с применением полевого моделирования пожара.

2. Расчетный анализ динамики пожара в помещениях резервуаров топлива доказывает, что при обеспечении условной герметичности помещений требования к пределам огнестойкости строительных конструкций и заполнений проемов – не выше 60 мин. Таким образом, проектные пределы огнестойкости стен и заполнений проемов в этих стенах достаточны для обеспечения нераспространения пожара при обеспечении условной герметичности помещений резервуаров.

3. В связи с тем что ячейки промскладов имеют независимые системы вентиляции и смотровые люки в перекрытии помещений резервуаров топлива выходят непосредственно наружу, распространение ОФП между ячейками вследствие повышения давления при пожаре возможно только при повреждении дверей в стенах. Для ограничения роста давления при пожаре с целью обеспечения условий устойчивости дверей в стенах помещений резервуаров были рекомендованы дополнительные противопожарные мероприятия – устройство легкосбрасываемых (открываемых) люков в конструкции перекрытия. Для гарантированного открытия при пожаре люки не должны иметь устройств запираения или должно быть обеспечено их открытое состояние организационно-техническими мероприятиями по пожарной безопасности.

4. При условии выполнения дополнительных противопожарных мероприятий для помещений резервуаров промежуточного топлива при пожаре в соответствии с п. 48 НП-087-11 [2] обеспечивается физическое разделение элементов САЭ, относящихся к разным каналам системы безопасности.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009). Топливо дизельное евро. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2009.
2. НП-087-11. Требования к системам аварийного электроснабжения атомных станций [интернет]. Москва: ФБУ «НТЦ ЯРБ»; 2013. Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/ca4/4293778301.pdf>
3. Пуцев Д.И., Кривцов Ю.В., Грошев Ю.М., Лобанова Н.А. Оценка возможности применения полевого моделирования пожара для проведения расчетов пожаров в зданиях и помещениях. Вестник НИЦ «Строительство». 2023;37(2):37–70. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-37-70](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-37-70)
4. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации [интернет]. Москва: ВНИИПО; 2003. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808018.pdf>
5. Рекомендации по оценке пожароуязвимости систем (элементов), важных для безопасности, на Российских АЭС. Москва: ВНИИАЭС; 2000.
6. Молчадский И.С., Зотов С.В. Расчет требуемого предела огнестойкости и допустимой пожарной нагрузки железобетонных колонн. В: Огнестойкость строительных конструкций: сб. научных трудов. Москва: ВНИИПО; 1984, с. 50–65.
7. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Андреев В.В., Козлов Ю.И. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Москва: Академия ГПС МЧС России; 2012.
8. СП 13.13130.2009. Атомные станции. Требования пожарной безопасности. Москва: МЧС России; 2009.
9. Ingberg S.H. Tests of the Severity of Building Fires. NFPA Quarterly. 1928;22(1):43–61.
10. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения. Рекомендации. Москва: ВНИИПО; 1988.
11. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. Москва: Стандартинформ; 2020.
12. Болодьян А.А., Глухов И.С., Пуцев Д.И. Математическое моделирование переноса газо-аэрозольных смесей в объеме помещения. Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ. Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: Материалы XII Всерос. науч.-техн. конф. Москва: ВНИИПО; 1993, с. 164–165.

References

1. State Standard R 52368-2005 (EN 590:2009). Diesel fuel EVRO. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
2. NP-087-11. Requirements for emergency power supply systems of nuclear power plants [internet]. Moscow: SECNRS; 2013. Available at: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/ca4/4293778301.pdf> (In Russian).
3. Putsev D.I., Krivtsov Yu.V., Groshev Yu.M., Lobanova N.A. Evaluating feasibility of field modeling of fire to calculate fire characteristics in buildings and premises. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2023;37(2):37–70. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-37-70](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-37-70)
4. Application of the field method of mathematical modeling of indoor fires: Methodological recommendations [internet]. Moscow: VNIPO; 2003. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808018.pdf> (In Russian).
5. Recommendations for assessing the fire resistance of systems (elements) important for safety at Russian nuclear power plants. Moscow: VNIIAES; 2000. (In Russian).
6. Molchadsky I.S., Zotov S.V. Calculation of the required fire resistance limit and permissible fire load of reinforced concrete columns. In: Fire resistance of building structures: collection of scientific papers. Moscow: VNIPO; 1984, pp. 50–65. (In Russian).
7. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Andreev V.V., Kozlov Yu.I. Forecasting of fire hazards in the room. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia; 2012. (In Russian).
8. SP 13.13130.2009. Nuclear Power Plants. Fire Safety Requirements. Moscow: Ministry of Emergency Situations of Russia; 2009. (In Russian).
9. Ingberg S.H. Tests of the Severity of Building Fires. NFPA Quarterly. 1928;22(1):43–61.
10. Methods for calculating the temperature regime of fire in buildings of various purposes. Recommendations. Moscow: VNIPO; 1988. (In Russian).
11. SP 468.1325800.2019. Concrete and reinforced concrete structures. Rules for ensuring of fire resistance and fire safety. Moscow: Standartinform; 2020. (In Russian).
12. Bolodyan A.A., Glukhov I.S., Putsev D.I. Mathematical modeling of the transfer of gas-aerosol mixtures in the volume of the room. Scientific and technical support of fire-fighting and rescue operations. In: Scientific and technical support of fire and rescue operations: Materials of the XII scientific and practical conference. Moscow: VNIPO; 1993, pp. 164–165. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Игоревич Пуцев, д-р техн. наук, генеральный директор ООО «Научно-технический центр «Промышленная и пожарная безопасность» (ООО «НТЦ ППБ»), Балашиха
e-mail: ntcpb@mail.ru

Dmitry I. Putsev, Dr. Sci. (Engineering), Director General, Scientific and Technical Centre “Industrial and Fire Safety”, Balashikha
e-mail: ntcpb@mail.ru

Светлана Юрьевна Мишина, начальник отдела АО «Атомэнергoproект», Москва
e-mail: Michina_SY@aep.ru

Svetlana Yu. Mishina, Department Head, JSC Atomenergoproekt, Moscow
e-mail: Michina_SY@aep.ru

Юрий Михайлович Грошев✉, канд. техн. наук, главный специалист АО «Атомэнергoproект», Москва
e-mail: Groshev_YM@aep.ru

Yuri M. Groshev✉, Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist, JSC Atomenergoproekt, Moscow
e-mail: Groshev_YM@aep.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author