

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, канд. юрид. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ol-26@mail.ru)

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, начальник Учебно-научного комплекса пожаротушения, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adinko@mail.ru)

И. С. ФОГИЛЕВ, заместитель начальника Института развития, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: galich_ivan@mail.ru)

УДК 614.89

ВРЕМЕННОЙ МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА НА ПЕРСОНАЛ АЭС И КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА ОТ НИХ

Проведен анализ пожаров на объектах атомной энергетики. С помощью расчетно-аналитических исследований динамики пожаров для типовых помещений АЭС определены критические времена достижения опасными факторами пожара критических значений для людей на уровне рабочей зоны. Дан анализ прибытия пожарных подразделений по охране АЭС на территорию станций при пожарах. Рассмотрен перечень средств защиты и технического оснащения оперативного персонала щитов управления АЭС. Разработаны мероприятия по комплексной защите оперативного персонала АЭС, проводящего специальные работы по выработке электрической энергии при пожарах в условиях воздействия опасных факторов. Проведены комплексные испытания технических средств для обеспечения действий оперативного персонала при пожаре с использованием учебно-тренировочных комплексов.

Ключевые слова: пожар; атомная электростанция; опасные факторы пожара; оперативный персонал АЭС; непригодная для дыхания среда; средства защиты.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24

Введение

Согласно прогнозу развития энергетики в мире в целом и в России в частности до 2040 г. атомная энергетика в период с 2010 по 2040 гг. будет занимать третье место в мире по темпам прироста ее потребления после возобновляемых источников энергии и газа, причем в силу многих причин практически весь рост придется на развивающиеся страны, в то время как в развитых странах в основном будет идти замена энергоблоков АЭС из-за истечения проектных сроков эксплуатации [1].

За этот период должны быть выведены из эксплуатации более 60 % эксплуатируемых в настоящее время энергоблоков. Средний возраст действующих реакторов составляет 28,5 лет. Самым старым является реактор в Швейцарии, который функционирует в течение 45 лет.

Длительная эксплуатация технологического оборудования в процессе выработки электрической энергии в определенных случаях может стать при-

чиной пожара на АЭС. Необходимо также отметить, что пожарная нагрузка в помещениях АЭС достаточно велика. На основных производствах используется большое количество горючих веществ, газов и жидкостей (только в машинном зале находится свыше 100 т машинного масла, огромное количество кабельных систем и пр.) [2]. Высокая энергонасыщенность технологического процесса обуславливает наличие большого количества источников зажигания. Все это свидетельствует о чрезвычайно высокой вероятности возникновения пожаров и аварий на АЭС. Развившиеся пожары на АЭС сопровождаются множеством одновременных отказов систем автоматики, технологического оборудования и систем безопасности.

Приведем только некоторые из тяжелых пожаров и аварий на атомных электростанциях:

- 1957 г. — пожар на уран-графитовом исследовательском реакторе в Уиндскайле (Великобритания); погибло 13 чел.;

- 1975 г. — пожар на АЭС “Браунс Ферри” (США);
- 1978 г. — пожар на Белоярской АЭС;
- 1981 г. — пожар на АЭС “Сан-Онофре” (США);
- 1982 г. — пожар на Армянской АЭС;
- 1984 г. — взрыв водорода в системе охлаждения турбогенератора с последующим пожаром на АЭС “Ранчо Секо” (США);
- 1985 г. — пожар на АЭС “Мааньшань” (о. Тайвань);
- 1986 г. — взрыв с последующим пожаром на Чернобыльской АЭС. Погибло 30 чел., госпитализировано свыше 200 чел., эвакуировано 115 тыс. чел. Радиоактивному заражению подверглась территория в радиусе более 2 тыс. км;
- 1986 г. — второй пожар на Чернобыльской АЭС;
- 1988 г. — пожар на Игналинской АЭС;
- 1989 г. — взрыв с последующим пожаром на АЭС в Вандельосе (Испания).

Второе тысячелетие отмечено крупнейшей аварией на японской атомной станции “Фукусима” в 2011 г. [3], масштабы которой сравнимы с Чернобыльской катастрофой.

В отдельных случаях при пожарах наблюдалась потеря контроля работы реакторной установки (РУ) и ее управления.

Согласно статистическим данным [4] и в настоящее время на АЭС нередко возникают загорания и пожары (табл. 1).

Анализ пожаров, происшедших на АЭС, показывает, что наиболее часто они возникают в машинных залах, реакторных отделениях, открытых распределительных устройствах и деаэрационных этажерках. Спецификой возникновения пожаров на АЭС является то, что они могут быть как исходным событием в развитии проектной или тяжелой аварии, так и последующим событием, инициированным аварией [5].

Вопросами моделирования развития пожара и его последствий на объектах ядерной энергетики занималось большое число специалистов различных научно-исследовательских организаций (А. К. Микеев, Н. П. Копылов, И. А. Болодьян, А. Н. Баратов, Ю. А. Кошмаров, Д. И. Пуцев и др.).

По их оценкам пожары могут реально угрожать радиационной и ядерной безопасности. Из выполненных работ по вероятностному анализу безопасности атомных станций следует, что доля риска в общем значении вероятности повреждения активной зоны реактора, приходящаяся на пожары, может достигать половины. Таким образом, вклад пожаров в частоту повреждения активной зоны может находиться на уровне вклада всех других внутренних причин, вместе взятых.

Необходимо отметить, что на оперативный персонал АЭС, работающий в круглосуточном сменном режиме, в случае пожара возлагаются первоначальные действия по ликвидации пожара до прибытия

Таблица 1. Пожары и аварии, происшедшие на АЭС в РФ в 2012–2015 гг.

Table 1. Fires and accidents at nuclear power plants (NPP) in Russia in 2012–2015

Дата аварии Date of accident	Местоположение Location	Краткое описание Short description
06.07.2012	Белоярская АЭС Beloyarsk NPP	Возгорание опалубки на строительной площадке главного корпуса 4-го энергоблока The formwork fire occurred on the construction site of the main building of the fourth power unit
07.09.2012	Ростовская АЭС Rostov NPP	Пожар на строящемся блоке АЭС. Площадь возгорания 350 м ² Fire on the building of the NPP. The area of ignition was 350 sq. m
16.08.2013	Нововоронежская АЭС-2 Novovoronezhskaya NPP-2	Возгорание на стройплощадке АЭС-2 на площади 150 м ² There was a fire on the construction site of NPP-2 on an area of 150 sq. m
25.11.2013	Калининская АЭС Kalinin NPP	Возгорание теплоизоляционного материала при проведении работ по восстановлению участка кровли трубопроводного коридора энергоблока № 1 When carrying out restoration roof portion corridor pipeline unit No. 1 caught fire insulation material
20.03.2014	Курская АЭС Kursk NPP	Задымление в одном из вспомогательных помещений электрического цеха на 3-м энергоблоке АЭС Smoke occurred at one of the ancillary facilities of the electric plant at the third unit the plant
09.02.2015	Ростовская АЭС Rostov NPP	Возгорание водорода на дренажном вентиле в районе расположения газового корпуса Ростовской АЭС Hydrogen on the drainage valve caught fire in the area of the gas building of the Rostov NPP

объектовых подразделений пожарной охраны. В связи с этим повышение уровня защищенности персонала АЭС при пожарах является одним из факторов, способствующих обеспечению безопасности атомной энергетики в целом.

Воздействие таких опасных факторов пожара (ОФП), как пламя, искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму, может привести к травмированию и гибели персонала АЭС, осуществляющего круглосуточную сменную работу по выработке электрической энергии.

Методы прогнозирования динамики развития ОФП для производственных объектов изложены в нормативных документах МЧС России по пожарной безопасности [6, 7], что в настоящее время позволяет использовать их при решении ряда практических задач. Работы по моделированию реальных трехмерных процессов при пожарах проводятся в России, Австралии, Англии, США и ряде других стран [8, 9].

Целью настоящей работы является оценка воздействия ОФП на персонал АЭС и разработка комплексной защиты от них. Для достижения поставленной цели необходимо:

- спрогнозировать динамику развития пожара в типовых помещениях АЭС и определить время наступления предельных значений (величин) ОФП для персонала на уровне рабочей зоны;
- провести анализ прибытия подразделений Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России по охране АЭС к месту вызова и определить временные показатели;
- провести анализ возможности действий персонала при пожаре с использованием имеющихся технических средств;
- разработать комплексную защиту оперативного персонала АЭС при выполнении работ в случае возникновения пожара.

Воздействие ОФП на оперативный персонал АЭС

Расчетно-аналитические исследования динамики развития пожаров для типовых помещений, зданий и технологических установок АЭС выявили критические времена достижения опасными факторами пожара критических для людей значений на уровне рабочей зоны и время блокирования ими эвакуационных выходов в помещениях и зданиях станций [10].

Основным ОФП, при котором персонал не может продолжать работу в помещениях и зданиях АЭС, является потеря видимости. Так, на резервном пункте управления (РПУ) критический временной пока-

затель составляет порядка 41 с, в помещении блочного пункта управления (БПУ) — 59 с, в реакторном здании — 76 с. Из представленных данных можно сделать вывод о необходимости срочной эвакуации персонала, не имеющего специальных технических средств и средств защиты.

Следующий блок ОФП объединяет следующие критические временные показатели:

- по пониженному содержанию кислорода (O_2): на РПУ — около 116 с, на БПУ — 169 с, в реакторном здании — 290 с;
- по повышенному содержанию CO : на РПУ — порядка 144 с, на БПУ — 215 с, в реакторном здании — 262 с;
- по повышенному содержанию HCl : на РПУ — примерно 67 с, на БПУ — 97 с, в реакторном здании — 124 с.

Расчеты, выполненные применительно к развитию пожара в машинном зале АЭС, показали, что предельно допустимые концентрации токсичных веществ на путях эвакуации и в местах пребывания оперативного персонала оказываются превышенными через 50 с после возникновения пожара [11–13].

Персонал АЭС, обеспеченный фильтрующими средствами защиты органов дыхания, не может работать в условиях воздействия данных ОФП и должен покинуть помещения (здания) АЭС. В этих условиях выполнять свою работу может только тот персонал, который обеспечен дыхательными аппаратами со сжатым воздухом (ДАСВ).

По повышенной температуре критический временной показатель на РПУ составит порядка 101 с, на БПУ — 144 с, в реакторном здании — 157 с. В условиях воздействия данного ОФП персонал АЭС может работать только в специальных средствах защиты тела человека.

Критические показатели ОФП получены в результате расчета с использованием полевого математического метода прогнозирования [14].

Таким образом, расчеты динамики пожаров и анализ возможных вариантов их развития в помещениях и зданиях АЭС показали, что основными опасными факторами, влияющими на безопасность человека, являются снижение видимости в дыму и пониженная концентрация кислорода. На этот случай при возникновении пожара (аварии) персонал АЭС обеспечивается индивидуальными самоспасателями, с помощью которых проводится эвакуация людей из помещений станции в безопасную зону. Согласно расчетам эвакуация персонала из помещений АЭС должна быть проведена уже через 30 с с момента возникновения пожара.

По представленным АЭС данным в зависимости от типа реактора время вывода реакторной установки в подкритическое состояние и ее безопасного останова может достигать 4 ч. В течение этого времени

значения опасных факторов пожара будут неуклонно расти: будет повышаться температура, понижаться концентрация кислорода и выделяться большое количество токсичных веществ. При отсутствии возможности покинуть помещения щита управления (ЩУ), БПУ, РПУ и др. в случае возникновения пожара оперативный персонал должен иметь комплексную защиту при выполнении работ в условиях воздействия ОФП.

Порядок прибытия объектовых пожарных подразделений к месту вызова (пожара) на АЭС

Анализ следования объектовых подразделений ФПС по охране АЭС к месту вызова (пожара) на территории АЭС показал, что позднее обнаружение пожара, несвоевременный вызов пожарных подраз-

делений, задержка срабатывания автоматических средств пропуска на территорию АЭС приводят к увеличению времени их прибытия с 2 до 35 мин (табл. 2).

Важно отметить, что до прибытия пожарных подразделений оперативный персонал действует согласно утвержденной на АЭС инструкции, при этом существует необходимость сбора информации о возникшем пожаре (загорании), об эвакуации персонала, а также о проведении технологических переключений (отключений) оборудования. Вместе с тем при неразвившемся пожаре оперативный персонал принимает посильные меры по его тушению первичными средствами пожаротушения.

Исследования динамики развития пожара на блочный щит управления (БЩУ) 3-го энергоблока Кольской АЭС в рамках проведения работ по повы-

Таблица 2. Прибытие подразделений ФПС ГПС к месту вызова
Table 2. Arrival of fire brigade units to the place of call

АЭС NPP	Объектовое подразделение ФПС ГПС Fire unit	Объект защиты АЭС The object of NPP protection	Дата Date	Расстояние от ПЧ до КПП, км Distance to NPP, km	Время следования, мин Time to follow, min
Смоленская (САЭС) Smolensk NPP	ПСЧ-1 Fire-saving part No. 1	Склад дизельного топлива Diesel storage	31.10.2012	0,15	2
		Помещение 220/11 Premise 220/11	22.04.2013	0,15	2
		Помещение 301/1 Premise 301/1	05.03.2014	0,15	2
Курская (КуАЭС) Kursk NPP	ПСЧ-8 Fire-saving part No. 8	Цех ТАИ, помещение 353 Shop TAI, premise 353	22.01.2013	0,1	5
		Помещение 136/1 реакторного цеха Premise 136/1 reactor shop	04.04.2014	0,1	5
		Помещение 114/1 реакторного цеха Premise 114/1 reactor shop	07.04.2014	0,1	5
		Силовая сборка 17001Н КРУ 0,4 кВ, помещение 103/1 блока ВСРО Premise 103/1	20.03.2014	0,8	20*
Белоярская (БелАЭС) Beloyarsk NPP	ПСЧ-35 Fire-saving part No. 35	Крыша деаэрационной этажерки реактора БН-600 Roof of deaerator reactor BN-600	27.06.2013	1	35**
Ростовская (РСТАЭС) Rostov NPP	ПСЧ-37 Fire-saving part No. 37	Открытая площадка ресиверов водорода, азота Open area of hydrogen and nitrogen tanks	09.02.2015	0,2	16***
Калининская (КЛНАЭС) Kalinin NPP	ПСЧ-8 Fire-saving part No. 8	Фаза В шунтирующего реактора Р-1-750 The B phase of the shunt reactor P-1-750	23.07.2010	0,5	4

* Сообщение о пожаре поступило в ПСЧ-8 только через 6 мин после его обнаружения.

The fire report was received in fire-saving part No. 8 only after 6 minutes after detection.

** Сообщение о пожаре поступило в ПСЧ-35 только через 25 мин после его обнаружения.

The fire report was received in fire-saving part No. 35 only after 25 minutes after detection.

*** Сообщение о пожаре поступило в ПСЧ-37 только через 7 мин после его обнаружения.

The fire report was received in fire-saving part No. 37 only after 7 minutes after detection.

шению пожарной безопасности станции показал, что наиболее вероятная ситуация развития аварии при возникновении пожара — это тушение пожара на начальной стадии персоналом. При этом, если меры по тушению не привели к успеху (большая начальная мощность источника зажигания, развитие пожара в подпольном пространстве или другом труднодоступном месте и т. д.), длительное горение даже одного шкафа электротехнических устройств приводит к потере БЩУ. Потеря БЩУ происходит в первую очередь в результате потери видимости. Время потери видимости для зала составляет примерно 5 мин, а для зального помещения — до 10 мин при пожаре в защитовом пространстве. Своевременное прибытие и начало успешных действий пожарных подразделений при данных сценариях развития пожара маловероятны [3].

Таким образом, анализ прибытия подразделений ФПС по охране АЭС к месту вызова показал, что достаточно большой временной интервал следования может стать причиной распространения пожара по технологическому оборудованию и помещениям АЭС. Следовательно, дежурному персоналу необходимо принять усиленные меры по тушению пожара имеющимися первичными средствами пожаротушения.

Одновременно с тушением пожара необходимо провести эвакуацию персонала, не задействованного в выполнении специальных работ по выведению реакторной установки в подкритичное состояние, используя средства защиты органов дыхания и зрения.

До прибытия подразделений ФПС необходимо собрать информацию о происшествии и масштабах аварии, проведя предварительную разведку.

Защита оперативного персонала АЭС в условиях воздействия ОФП

Анализ пожара, происшедшего 30 декабря 1978 г. на Белоярской АЭС, показал, что все операции оперативного персонала по отключению оборудования и расхолаживанию реакторов проводились в чрезвычайно сложных условиях. Из-за пожара и коротких замыканий кабелей вышли из строя штатные системы контроля реакторных установок. Помещения оказались сильно задымлены, наблюдалась большая токсичность дыма. Инженерно-технический персонал дежурной смены АЭС не мог находиться на БЩУ-2, так как дышать без кислородно-изолирующего противогаза (КИП) было нельзя, а штатные противогазы оказались непригодными для работы. Приходилось надевать на инженера или техника КИП и со звеном газодымозащитников сопровождать специалиста до БЩУ-2 для проведения операции по остановке и охлаждению реактора. В таких условиях многие специалисты АЭС не выдерживали на-

пряжения и теряли сознание. Остановка и охлаждение реакторов проводились в режиме “нестатной” ситуации. При этом 25 чел. из числа персонала АЭС и пожарных получили отравление продуктами горения различной степени тяжести. Для ликвидации пожара потребовалось 10 ч [15].

В дежурной смене специалисты из числа оперативного персонала АЭС, занимающие должности, входящие в отдельный перечень, даже в условиях непригодной и (или) загазованной для дыхания среды не покидают рабочее место (помещение) и продолжают выполнять технологические операции по выводу реакторной установки в подкритичное состояние. Данный оперативный персонал для работы в непригодной для дыхания среде обеспечивается дыхательными аппаратами со сжатым воздухом, хранящимися в непосредственной близости от рабочего места специалиста.

В приложении Б И1.3.2.15.1111–2016 “Организация защиты оперативного персонала атомных станций при пожарах (авариях) в условиях непригодной для дыхания среды. Инструкция” представлен перечень оснащения оперативного персонала АЭС для проведения работ на блочных и резервных щитах управления (табл. 3).

Как показывает практика применения средств защиты человека от воздействия ОФП оперативными пожарно-спасательными службами, представленное в табл. 3 оснащение оперативного персонала щитов управления АЭС не в полной мере позволяет обеспечить их безопасность в случае возникновения пожара.

Воздействие на человека открытого пламени, искр, теплового потока, повышенной температуры окружающей среды при пожаре обуславливает необходимость разработки комплексной защиты оперативного персонала, работающего в этих условиях [16]. Средства защиты оперативного персонала АЭС должны не только обеспечивать защиту их от ОФП, но и учитывать особенности должностных лиц, возраст которых в отдельных случаях может достигать 60 лет и более.

Для выполнения специальных работ в условиях пожара необходимы средства защиты:

- тела человека от воздействия искр, открытого пламени (защитная плащ-накидка, защитные краги, защитная обувь, защитная каска);
- органов дыхания и зрения (дыхательный аппарат со сжатым воздухом).

В целях облегчения работы оперативного персонала АЭС в условиях пожара разработана специальная защитная накидка. Материал накидки — термостойкая кремнеземная ткань, предназначенная для защиты тела человека от краткосрочного воздействия открытого пламени, искр и брызг расплав-

Таблица 3. Перечень оснащения оперативного персонала БЦУ и РЦУ**Table 3.** List of equipment for operational personnel of NPP management rooms

Вид оснащения Equipment	Количество / Amount	
	БЦУ NPP control room	РЦУ Spare NPP control room
Нож (с небольшим закругленным лезвием, пригодный для резки одежды пострадавших), шт. Knife (with a small rounded blade suitable for cutting clothing affected), units	1	1
Ножницы (с небольшими закругленными лезвиями, пригодные для резки одежды пострадавших), шт. Scissors (with a small rounded blade suitable for cutting clothing affected), units	1	1
Каски, на каждое рабочее место, шт. Helmets for each workplace, units	1	1
Фонари переносные, шт., не менее Lanterns portable, units, not less than	2	2
Налобные фонари для выполнения переключений при отсутствии освещения, на каждое рабочее место, шт. Headlamps for switching operations in the absence of lighting-for each workplace	1	1
Самоспасатели фильтрующие, шт., не менее Self-rescuers, units, not less than	10	5
Противогазы фильтрующие (рекомендованные для применения именно оперативным персоналом): Filter masks (recommended for use operational staff):		
с фамилией, указанной на прикрепленной табличке, подогнанный по размеру головы with the name indicated on the attached plate	Индивидуально Individually	—
разных размеров, шт., не менее different measure, units, not less than	—	15
Запасные фильтрующие коробки противогазов (для использования при исчерпании ресурса основных), шт., не менее Spare filtering boxes for gas masks (for use when the main resource is depleted), units, not less than	—	15
ДАСВ для профессиональных пожарных, на каждое рабочее место, шт. The breathing apparatus with compressed air for professional firemen for each workplace, units	1	1
Средства тушения пожаров в соответствии с требованиями ППБ-АС-2011, в том числе огнетушители, шт.: Extinguishing Media Fire, extinguishers, units:		
ОХ-2-ВСЕ	2	2
ОХ-6-ВСЕ	1	1
Боевая одежда пожарного (2-го уровня), шт., не менее Special fireman clothes, units, not less than	—	2
Респиратор типа ШБ-1 “Лепесток-200”, шт. Respirator of ShB-1 type “Lepestok-200”, units	200	200
Клапанный противоаэрозольный фильтрующий респиратор, шт. Valve anti-aerosol filter respirator, units	10	2
Костюм защитный Л-1, шт. Protective Suit L-1, units	5	2
Перчатки х/б, пар Gloves, pair	10	10
Перчатки резиновые (для защиты от радиоактивных загрязнений), пар Rubber gloves (for protection against radioactive contamination), pair	10	10
Бахилы, пар Shoe covers, pair	10	2
Рукавицы брезентовые (для управления горячей арматурой), пар Gauntlet tarpaulin (to control the hot fittings), pair	5	5



Рис. 1. Специальная защитная плащ-накидка
Fig. 1. Special protective cloak



Рис. 2. Замер частоты сердечных сокращений участников испытаний при выполнении упражнений в учебно-тренировочном комплексе

Fig. 2. Measurement of the heart rate of participants in trials during the passage of exercises in the training complex

ленного металла (рис. 1). Практическая апробация защитной накидки показала простоту и удобство ее использования в сравнении с боевой одеждой пожарного. Проведенные замеры частоты сердечных сокращений показали, что участники испытаний в защитной накидке испытывают меньшее физиологическое напряжение (рис. 2).



Рис. 3. Проведение испытаний в учебно-тренировочных комплексах в условиях, приближенных к реальным

Fig. 3. Conducting tests in training complexes in conditions close to real

Проведенные испытания показали достаточную степень защиты оперативного персонала при выполнении ими аварийных технологических переключений и первичных действий по тушению пожара (рис. 3).

Кроме средств защиты от ОФП, для работы в условиях пожара оперативному персоналу АЭС необходимы следующие технические средства:

- фонарь для освещения места работы;
 - трос-сцепка с карабинами для организации страховки при работе в задымленной зоне;
 - диэлектрический комплект (коврик, перчатки, боты);
 - топор пожарного для проведения специальных работ;
 - проводное переговорное устройство для обмена информацией между оперативным персоналом.
- Для проведения мероприятий по эвакуации людей и оказанию первой помощи при пожаре оперативному персоналу необходимы следующие средства:
- накидка огнезащитная;
 - самоспасатель промышленный изолирующий;
 - медицинская аптечка для энергопредприятий.

Заключение

В результате проведенного исследования динамики развития пожара на АЭС выявлено, что основным опасным фактором пожара, влияющим на выполнение работ оперативным персоналом АЭС по выработке электрической энергии, является потеря видимости. Уже через 30 с с момента возникновения пожара должен быть эвакуирован персонал АЭС, не выполняющий специальные работы по технологическим отключениям и переключениям и выведению реакторной установки в подкритическое состояние. Одновременно с эвакуацией персонала

АЭС оперативный персонал должен принимать по- сильные меры по тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения, осуществлять сбор информации о происшествии и передачу ее прибывшим к месту вызова подразделениям ФПС по охране АЭС. Обеспечение оперативного персонала средствами защиты от воздействия ОФП, необходимыми техническими средствами для оказания первой помощи пострадавшему и проведения специальных работ в условиях пожара позволит при условии соответствующей подготовки выполнить указанные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года / Институт энергетических исследований Российской Академии наук, Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. — М., 2014. — 168 с. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/2194.pdf> (дата обращения: 30.05.2017).
2. Пуцев Д. И. Пожарная безопасность атомных станций : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2011. — 47 с.
3. Авария на АЭС Фукусима-1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_АЭС_Фукусима-1 (дата обращения: 24.06.2017).
4. Статистические данные ООО НПО “ДИАР”. Авария и происшествия на атомных объектах, URL: <http://www.npo-diar.ru/statistics/157/25192/> (дата обращения: 20.06.2017).
5. Харевский В. А., Богданов А. Е., Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Разработка комплекса средств защиты оперативного персонала атомных электростанций при пожаре // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 4. — С. 13–18.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (с изм. на 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 20.06.2017).
7. О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 : приказ МЧС РФ от 14.12.2010 № 649. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902253161> (дата обращения: 20.06.2017).
8. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator (Version 6). NIST Special Publication 1018. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. — 149 p.
9. Rasmussen N. C. The application of probabilistic risk assessment techniques to energy technologies // Annual Review of Energy. — 1981. — Vol. 6, No. 1. — P. 123–138. DOI: 10.1146/annurev.eg.06.110181.001011.
10. Пузач С. В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара : свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006. — № 2006613462; заявл. 12.10.2006.
11. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 432 с.
12. Tanaka T., Yamana T. Smoke control in large scale spaces. Part 1: Analytic theories for simple smoke control problems // Fire Science and Technology. — 1985. — Vol. 5, No. 1. — P. 31–40. DOI: 10.3210/fst.5.31.
13. Li Y. Z. Smoke flow and control in large space atrium buildings: PhD Thesis. — Hefei : University of Science and Technology of China, 2001.
14. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
15. Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Обеспечение действий персонала атомных электростанций в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2015. — Вып. 2(60). — 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/33-02-15.ttb.pdf> (дата обращения: 24.06.2017).
16. Пузач С. В., Смагин А. В., Мань Д. В. Оценка защищенности человека на пожаре от воздействия токсичных газов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2009. — № 1. — С. 28–37.

Материал поступил в редакцию 26 июня 2017 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Лебедченко О. С., Ищенко А. Д., Фогилев И. С. Временной механизм воздействия опасных факторов пожара на персонал АЭС и комплексная защита от них // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 15–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24.

English

TEMPORAL MECHANISM IMPACT HAZARD FIRE ON NUCLEAR POWER PLANTS STAFF AND COMPREHENSIVE PROTECTION AGAINST THEM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: puzachsv@mail.ru)

LEBEDCHENKO O. S., Candidate of Legal Sciences, Docent, Assistant Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ol-26@mail.ru)

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Head of Educational-Scientific Complex Fire-Fighting, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adinko@mail.ru)

FOGILEV I. S., Deputy Head of the Development Institute, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: galich_ivan@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The analysis of large fires and accidents at nuclear power plants in Russia and the world testifies to the serious consequences for the population living in the surrounding areas, as well as the the state in general. Fires are most often arise in the machine rooms, the reactor compartments, open distribution devices and of the deaerator stacks. The specificity of fires at nuclear power plants is that they can appear as the initial event for the development of the project, or serious accident, and subsequent events initiated by the accident.

This study considers the impact of a fire hazards to the operating nuclear power plant personnel and methods of protection against them in the mode of shift work.

Materials and methods. There are conducted settlement and analytical research of the dynamics of fires in typical premises, buildings and technological nuclear installations and the analysis of the reaction fire units on the protection of nuclear power plants to the place of a call (fire).

Theory and calculation. The resulting critical indicators of impact of hazardous fire on human factors formed the basis for the development of a special set of protective equipment of operating personnel.

The list of human means of protection includes:

- human body means of protection from exposure to sparks, open flame (the protective cloak, protective mittens, protective footwear, protective helmet);
- respiratory protection and eye (breathing apparatus with compressed air).

Results. Carried out a series of experiments, using the educational and training complexes showed acceptable level of protection against fire hazards and convenience of use the special set of means of protection designed for operating personnel.

Discussion. The degree of protection of workers from the effects of fire hazards during the work in the initial stage of the fire can be considered acceptable based on use of developed set of means of protection and an adequate level of preparation.

Conclusions. The study of the dynamics of development of a fire at nuclear power plants revealed that the main fire hazards affecting the execution of work atomic power plant operational personnel is the loss of visibility. The staff is not provided protective equipment must immediately leave the premises. Operational staff provided a special set of protection means can perform the work in the initial stage of the fire, and as part of a special unit for the prevention of accident, subject to appropriate training. Operational staff secured by a special set of protection means can perform

the work in the initial stage of the fire, and as part of a special unit for the prevention of accident, subject to adequate preparation.

Keywords: fire; nuclear power plant; fire hazards; operational staff nuclear power plants; unbreatable environment; means of protection.

REFERENCES

1. *Forecast of the development of the energy sector in the world and Russia until 2040*. The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Analytical Center for the Government of the Russian Federation. Moscow, 2014. 168 p. (in Russian). Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/2194.pdf> (Accessed 30 May 2017).
2. Putsev D. I. *Fire safety of nuclear power plants*. Abstr. dr. tech. sci. diss. Moscow, 2011. 47 p. (in Russian).
3. *Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant-1* (in Russian). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_АЭС_Фукусима-1 (Accessed 24 June 2017).
4. *Statistical data of OOO NPO "DIAR". Accidents and incidents at nuclear facilities* (in Russian). Available at: <http://www.npo-diar.ru/statistics/157/25192/> (Accessed 20 June 2017).
5. Kharevsky V. A., Bogdanov A. E., Ishchenko A. D., Fogilev I. S. Developing complex of protective means for nuclear power plants operating personnel in case of fire. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2015, no. 4, pp. 13–18 (in Russian).
6. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 20 June 2017).
7. *Changes to the order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404*. Order of Emercom of Russia on 14.12.2010 No. 649 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902253161> (Accessed 20 June 2017).
8. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire dynamics simulator (Version 6)*. NIST Special Publication 1018. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p.
9. Rasmussen N. C. The application of probabilistic risk assessment techniques to energy technologies. *Annual Review of Energy*, 1981, vol. 6, no. 1, pp. 123–138. DOI: 10.1146/annurev.eg.06.110181.001011.
10. Puzach S. V. *Integral, zone and field methods for calculating the dynamics of dangerous fire factors*. Certificate of Official Registration of the Program, no 2006614238, publ. date 08.12.2006 (in Russian).
11. Mikeev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Fire protection of nuclear power plants]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 432 p. (in Russian).
12. Tanaka T., Yamana T. Smoke control in large scale spaces. Part 1: Analytic theories for simple smoke control problems. *Fire Science and Technology*, 1985, vol. 5, no. 1, pp. 31–40. DOI: 10.3210/fst.5.31.
13. Li Y. Z. *Smoke flow and control in large space atrium buildings*. PhD Thesis. Hefei, University of Science and Technology of China, 2001.
14. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating heat and mass transfer during a fire in a room and their application in solving practical fire and explosion safety problems]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p. (in Russian).
15. Ishchenko A. D., Fogilev I. S. Ensuring of nuclear power operations plant personnel in unbreatable environment in case of fire. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal / Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2015, issue 2(60), 6 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-2/33-02-15.ttb.pdf> (Accessed 24 June 2017).
16. Puzach S. V., Smagin A. V., Man D. V. Estimation of people protection from action of toxic gases during fire. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2009, no. 1, pp. 28–37 (in Russian).

For citation: Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Ishchenko A. D., Fogilev I. S. Temporal mechanism impact hazard fire on nuclear power plants staff and comprehensive protection against them. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 15–24 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.15-24.