

И. В. Резвик, К. М. Ефимова, С. К. Поливода,
В. О. Иокст

Государственный научно-технический центр по ядерной
и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

Модернизация установок пожаротушения на АЭС Украины

Обеспечение пожарной безопасности АЭС представляет собой актуальную задачу, решать которую необходимо на основе самых современных подходов с учетом практики проектирования и строительства АЭС, в том числе в зарубежных странах.

В статье описаны результаты анализа пожарной защиты АЭС Украины, полученные на основе национальных и международных оценок, обозначены проблемы в этой области, а также представлены приоритетные мероприятия, направленные на повышение пожарной защиты АЭС, к которым относятся, в частности, модернизация пожарной защиты помещений систем безопасности и внедрение газового и порошкового пожаротушения на АЭС Украины.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, пожарная опасность, оценки противопожарной защиты, пожарная сигнализация, установки водяного пожаротушения, системы, важные для безопасности, газовое пожаротушение, порошковое пожаротушение.

І. В. Резвік, К. М. Єфімова, С. К. Полівода, В. О. Іокст

Модернізація установок пожежогасіння на АЕС України

Забезпечення пожежної безпеки АЕС є актуальним питанням, вирішувати яке треба на основі найсучасніших підходів з урахуванням практики проектування і будівництва АЕС, зокрема в зарубіжних країнах.

У статті описано результати аналізу пожежного захисту АЕС, отримані на основі національних і міжнародних оцінок, позначено проблеми у цій галузі, а також наведено пріоритетні заходи, спрямовані на підвищення пожежного захисту АЕС України.

Ключові слова: атомна електрична станція, пожежна небезпека, оцінки протипожежного захисту, пожежна сигналізація, установки водяного пожежогасіння, системи, важливі для безпеки, газове пожежогасіння, порошкове пожежогасіння.

© И. В. Резвик, К. М. Ефимова, С. К. Поливода, В. А. Иокст, 2017

Вопросы обеспечения безопасности объектов атомной энергетики имеют первостепенное значение. Основной риск связан с потенциальной возможностью выхода радиоактивных веществ при аварийной ситуации за предусмотренные проектом барьеры безопасности. В качестве одного из основных событий, при котором возможно нарушение целостности барьеров безопасности АЭС, рассматривается пожар. Вторичным проявлением опасных факторов пожара является выход радиоактивных веществ и материалов за предусмотренные проектом границы. Данное событие при нарушениях эксплуатации АЭС (отказы систем, элементов, ошибки персонала) и недостатках проектных решений по предотвращению пожаров и их последствий может привести к недопустимому выходу радиоактивных веществ за установленные границы и соответствующему негативному воздействию на персонал и окружающую среду.

Высокая потенциальная пожарная опасность АЭС обусловлена наличием значительного количества горючих материалов в конструкциях зданий и оборудовании. В технологической части энергоблока наиболее пожароопасными участками является маслonaполненное оборудование, оборудование систем дизельного топлива, а также оборудование, содержащее водород. В электротехнической части значительную пожарную опасность представляет кабельная продукция; кроме того, потенциальными источниками пожара могут быть шкафы и панели распределительных устройств, систем релейной защиты и автоматики. По данным эксплуатирующей организации НАЭК «Энергоатом», с 1985 года на отечественных АЭС произошло 39 пожаров: в 1985—1995 годах было зафиксировано 28 пожаров, в 1996—2006 годах — 10, а с 2007-го — один (загорелся трансформатор на Южно-Украинской АЭС). Анализ причин возникновения пожаров показал, что 51 % из них возник в результате короткого замыкания электрооборудования. Это говорит о наибольшей пожароопасности кабельного хозяйства, где сосредоточено большое количество горючих материалов.

Оценки пожарной опасности технологических процессов на АЭС свидетельствуют о том, что пожары могут реально угрожать радиационной и ядерной безопасности. Вероятностный анализ безопасности энергоблоков АЭС Украины показывает, что доля риска в общем значении частоты повреждения активной зоны реактора (ЧПАЗ), приходящаяся на внутренние пожары, находится в интервале от 5 до 50 % [1, 2]. Полученные значения удовлетворяют критериям безопасности [3, п. 4.1.1]. Однако вклад пожаров в ЧПАЗ находится на уровне вклада от всех других внутренних экстремальных воздействий (разрыв трубопроводов высоких энергий; летящие со стороны турбины детали, повреждающие важное для безопасности оборудование; внутренне затопление; падение тяжелых грузов на оборудование, важное для безопасности).

Пожары на АЭС могут сопровождаться возникновением множества отказов автоматики, электромеханического оборудования систем безопасности, самопроизвольных включений и т. п., последствия которых сложно прогнозировать. Опыт эксплуатации АЭС во всем мире показал, что пожары невозможно полностью исключить, а их возникновение может привести к значительным последствиям. В практике эксплуатации ядерных реакторов известны тяжелые пожары на АЭС. Приведем хронологию наиболее крупных пожаров на ядерных установках.

1957 год. Великобритания. Пожар на уран-графитовом исследовательском реакторе Windscale. Из-за ошибки персонала огонь охватил 8 т уранового топлива, было

повреждено 150 технологических каналов. В атмосферу попало $20 \cdot 10^3$ Ки радиоактивных элементов. Реактор затопили водой, осознавая при этом риск возможного взрыва. В результате реактор удалось перевести в холодное состояние.

1975 год. США. Пожар на АЭС Browns Ferry. При проверке утечек воздуха через гермопроходку с помощью горящей свечи произошло возгорание кабелей в кабельной шахте. Пожар повредил большинство кабелей блока и вывел из строя важные части аварийных систем управления реактором, охлаждения активной зоны, автоматические системы пожаротушения. Разрушения реактора удалось избежать.

1975 год. ГДР. Пожар на АЭС Greifswald. В результате ошибки оператора произошло короткое замыкание, которое спровоцировало пожар в кабельном канале. Пожар повредил линии управления и питания пяти из шести охлаждающих насосов, что привело к перегреву активной зоны. Реактор удалось перевести в холодное состояние.

1978 год. СССР. Пожар на Белоярской АЭС, приведший к обрушению крыши машинного зала на площади 960 м^2 . Выгорел весь контрольный кабель. Для ликвидации пожара потребовалось почти 10 ч. В его тушении участвовали 270 пожарных.

1982 год. СССР. Пожар на Армянской АЭС. Взрыв генератора на первом энергоблоке. Машинный зал серьезно пострадал от пожара, повреждено основное и вспомогательное оборудование. Для ликвидации пожара потребовалось почти 7 ч. В его тушении участвовали 110 работников пожарной охраны.

1984 год. СССР. Пожар на первом энергоблоке строящейся Запорожской АЭС, в период подготовки его к пуску. После самовозгорания одного из шкафов автоматики огонь через кабельные связи распространился по кабельной шахте. Причиной пожара стало использование на станции распространяющей горение изоляции кабеля, которая воспламенялась, плавилась и, обрываясь, поджигала пучки кабелей на нижних отметках.

1988 год. СССР. Пожар на Игналинской АЭС, произошедший в кабельной шахте. Наиболее вероятная причина пожара — перегрев кабеля. Повреждение кабелей привело к срабатыванию аварийных защит реактора.

1989 год. Испания. Пожар на АЭС в Вандельосе, в машинном зале. В результате сильнейшей вибрации турбины произошло возгорание турбинного масла и водорода. Огонь быстро распространился по кабельным проходкам, уничтожив электрокабели как систем нормальной эксплуатации, так и аварийных систем, что вызвало многочисленные отказы оборудования, важного для безопасности. Реактор удалось перевести в холодное состояние.

1991 год. СССР. Пожар на Чернобыльской АЭС. Из-за повреждения изоляции кабеля во время монтажа несанкционированно было подано напряжение сети на практически остановленный генератор. В результате сильной вибрации произошел взрыв с последующим пожаром в машинном зале. Пожар привел к обрушению 2448 м^2 кровли машинного зала, что повлекло за собой повреждение оборудования, выполнявшего функции безопасности и необходимого для расхолаживания реактора и поддержания его в безопасном состоянии. Несмотря на многочисленные отказы систем и оборудования реактор оставался в контролируемом состоянии.

В ряде случаев из-за пожара были потеряны контроль и управление реактором и технологическим процессом, выведены из строя системы пожаротушения.

В связи с этим обеспечение пожарной безопасности АЭС представляет собой актуальную задачу, решать которую необходимо на основе самых современных подходов с учетом практики проектирования и строительства АЭС, в том числе в зарубежных странах.

По состоянию на сегодняшний день в Украине находятся в эксплуатации 15 энергоблоков с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР) на четырех АЭС. Основная часть энергоблоков АЭС Украины эксплуатируется в течение 25—30 лет. Проекты действующих энергоблоков разрабатывались по действующим в 70-е годы прошлого столетия нормам, правилам и стандартам. Ввиду отсутствия на момент выполнения проектов стандартов по ядерной безопасности, определяющих требования к пожарной защите, в этой области на сегодняшний день существует ряд недостатков. Опыт эксплуатации и детальные анализы безопасности, выполненные эксплуатирующей организацией с привлечением международных экспертов, показали ряд недостатков, вызванных различиями между стандартами, действовавшими на момент выполнения исходного проекта, и современными национальными и международными стандартами.

Основная цель статьи заключается в освещении процесса модернизации систем обнаружения и тушения пожаров на энергоблоках АЭС Украины; кратко рассмотрены и другие аспекты пожарной защиты энергоблоков.

Международные оценки пожарной защиты АЭС. МАГАТЭ по результатам проверок уровня безопасности ядерных установок так называемых советских проектов на соответствие международным требованиям и стандартам были разработаны рекомендации по вопросам повышения пожарной защиты, изложенные в «зеленых книгах» IAEA Issues Books — отчетах МАГАТЭ [4—6].

Согласно отчетам, недостатки в области пожарной защиты на энергоблоках АЭС являются основной проблемой, относящейся к опасностям внутреннего происхождения. На АЭС в соответствии с руководством по безопасности № NS-G-1.7 [7] должна быть обеспечена достаточная степень противопожарной защиты, которая достигается использованием концепции глубокоэшелонированной защиты, преследующей три главные цели:

1. Предотвращение возникновения пожаров.
2. Обнаружение и тушение пожаров.
3. Ограничение последствий пожаров.

Анализ пожарной безопасности реакторов типа ВВЭР показал наличие проблем по достижению всех трех перечисленных целей. Главная проблема, связанная с предупреждением пожаров, заключается в недостаточном физическом разделении на некоторых участках кабельных линий и компонентов резервного оборудования систем, важных для безопасности (СВБ), а также в их недостаточной защите от распространения пожара. Это является результатом применения кабелей, оболочки которых не являются пожароустойчивыми, отсутствия сертифицированных огнестойких дверей в противопожарных перегородках и слишком близкого расположения кабелей резервных каналов на некоторых участках систем. Возникновение пожара в данном случае может привести к потере резервирования систем СВБ, что и произошло при пожаре на АЭС Browns Ferry. Причина аварии крылась в большом недостатке проекта (хотя сама авария и обошлась без утечки радиоактивных продуктов), связанном с принципом прокладки кабелей: все кабели систем безопасности (СБ) находились в одном кабельном канале

и одинаково пострадали от пожара, в результате чего вышли из строя все СБ. После аварии были предусмотрены мероприятия по повышению пожарозащищенности кабелей путем их разделения по системам безопасности.

Непродуманная трассировка кабелей различных СБ, физически не разделенных между собой, вызвала многочисленные отказы оборудования СВБ при пожаре на АЭС в Вандельосе, что привело к невозможности дистанционного управления системами отвода остаточного тепловыделения.

Что касается применения на энергоблоках АЭС не устойчивых к пожару кабелей, то такая практика привела к пожару на первом энергоблоке Запорожской АЭС в период подготовки его к пуску. После этого случая на всех строящихся в то время блоках АЭС стали использовать кабель только с не распространяющей горение изоляцией и покрывать его огнезащитными составами. На сегодняшний день применение на АЭС кабелей с не распространяющей горение изоляцией является требованием [8, п. 5.3.2.2]. В системах противопожарной защиты, которые должны обладать надежностью и устойчивостью к воздействию опасных факторов пожара, применяют огнезащитные кабели с пределом огнестойкости не менее 1,5 ч согласно [9, разд. 5, п. 3].

Для обнаружения и тушения пожаров (в самом начале их возникновения) на энергоблоках АЭС применяют установки пожаротушения. Одна из проблем в этой области связана с функциональной способностью систем обнаружения пожара при внештатных ситуациях. Оборудование таких систем было разработано в соответствии с обычными промышленными нормами, без учета способности компонентов систем выдерживать землетрясения или другие экстремальные воздействия, которые могут возникнуть вследствие проектных аварий (механические, тепловые, химические и др.). В случае подобных экстремальных воздействий вероятно потеря способности указанных систем к обнаружению пожара или срабатыванию пожарной сигнализации. Другая проблема относится к срабатыванию системы водяного пожаротушения: в проекте ВВЭР предусмотрены три независимых канала системы подачи воды для тушения пожара, и в случае пожара в одном из помещений СБ лишь один канал противопожарной системы подачи воды будет запущен автоматически; при отказе этого канала резервные линии включаются только дистанционно или по месту. Еще один недостаток в области обнаружения и тушения пожаров заключается в отсутствии стационарных систем пожаротушения в помещениях блочного щита управления (БЩУ), резервного щита управления (РЩУ) и других помещениях с электрической и электронной аппаратурой.

Концепция *ограничения последствий пожаров* заключается в предотвращении распространения тех пожаров, которые не удалось потушить, т. е. в минимизации их действия на важные для безопасности функции АЭС. Препятствием к достижению указанной цели является отсутствие противопожарных клапанов на некоторых вентиляционных магистральных, что приводит к невозможности изолировать помещение, в котором возник пожар, и предотвратить распространение огня, тепла и дыма в другие помещения. Кроме того, в помещениях, потенциально опасных для возникновения пожара, и в эвакуационных коридорах не предусмотрено удаление дыма в случае пожара. Это может оказать вредное воздействие на обслуживающий персонал и создать трудности при его эвакуации.

Перечисленные проблемы затрагивают функции безопасности, реализация которых может оказаться под вопросом в случае выхода из строя резервных устройств в условиях проектных аварий. Международными экспертами для обеспечения достаточной степени противопожарной защиты на энергоблоках АЭС предложены мероприятия по устранению указанных недостатков и достижению высокого уровня глубокоэшелонированной защиты. Мероприятия направлены на покрытие кабелей огнезащитными средствами, использование противопожарных дверей, установку необходимых противопожарных клапанов и использование вентиляционных систем для противодымной защиты. Недостатки в вопросах физического разделения кабелей резервных каналов требуют проведения анализов и проверок на предмет обеспечения их адекватного разделения на случай пожара. Решение проблем с установками пожаротушения, по мнению международных экспертов, возможно путем модернизации систем обнаружения и тушения пожара, которая включает аттестацию оборудования для специфических условий внешней среды, резервирование системы водяного пожаротушения, внедрение систем пожаротушения для помещений с электрической и электронной аппаратурой.

Национальные оценки пожарной защиты АЭС. Проблемы пожарной защиты энергоблоков АЭС Украины отражены в национальных отчетах по анализу безопасности, разрабатываемых эксплуатирующей организацией. Анализ безопасности украинскими специалистами свидетельствует о сходстве проблем противопожарной защиты, заключающихся в нарушении концепции глубокоэшелонированной защиты. Кроме того, анализ безопасности предусматривает выявление недостатков пожарной защиты индивидуально по каждому энергоблоку АЭС Украины; на основе такого анализа определены необходимые дополнительные мероприятия по повышению пожарной защиты помещений БЩУ, РЩУ и СБ, которые заключаются в покрытии противопожарной изоляцией транзитных воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования. Огнезащита позволит исключить возможность распространения пожара из одного канала СБ в другой канал СБ через транзитные воздуховоды. В связи с наличием на некоторых отметках эвакуационных коридоров транзитных электрокабелей, что повышает риск возникновения пожара и осложняет эвакуацию при пожаре, существует необходимость повышения пожарной безопасности кабельного хозяйства (покрытие кабелей огнезащитными составами, обеспечивающими нераспространение горения, малые токсичность и дымообразование). Вероятность отказа канала СБ при пожаре повышается из-за отсутствия питания по особой группе I категории приборов пожарной сигнализации, входящих в состав обеспечивающих систем пожаротушения. Система водяного пожаротушения при некоторых проектных авариях может быть неэффективна в связи с функциональными недостатками ее элементов: насосы, относящиеся к обеспечивающим СБ, а также арматура кабельных помещений СБ выполнены в общепромышленном исполнении и не удовлетворяют требованиям сейсмостойкости.

Обнаруженные дефициты безопасности в области пожарной защиты вызвали необходимость проведения дорогостоящих реконструкций. Приведение состояния пожарной защиты энергоблоков АЭС Украины в соответствие с вновь вводимыми нормами, правилами и стандартами по ядерной и радиационной безопасности осуществлялось

в рамках программ повышения безопасности. Программы пересматривались в процессе эксплуатации по мере выполнения мероприятий и накопленного опыта эксплуатации. Большая часть работ по устранению недостатков пожарной защиты уже закончена. На сегодняшний день мероприятия по повышению пожарной безопасности реализуются по разработанной НАЭК «Энергоатом» программе «Комплексная (сводная) программа повышения уровня безопасности энергоблоков атомных станций» (КСПБ) [10]. Программа учитывает результаты выполненных анализов безопасности АЭС, мероприятия предыдущих программ повышения безопасности, а также рекомендации «зеленых книг» МАГАТЭ [4, 5, 6].

В КСПБ [10] в концентрированном виде представлены проблемы и дефициты пожарной безопасности, а также приоритетные мероприятия по повышению пожарной безопасности для всех энергоблоков АЭС Украины. К таким мероприятиям относится модернизация установок пожаротушения.

Модернизация системы автоматической пожарной сигнализации помещений СБ. Автоматическая пожарная сигнализация (АПС) предназначена для раннего обнаружения пожара и подачи сигнала тревоги для выполнения необходимых мероприятий (оповещение, эвакуация людей, вызов пожарных подразделений, запуск противодымных систем, управление противопожарными клапанами и установками пожаротушения). Системы АПС помещений СБ входят в состав автоматических установок водяного пожаротушения. На основании [8, п. 6.1.2], системы АПС относятся к обеспечивающим элементам СБ (если действия установок пожаротушения, в состав которых они входят, предотвращают повреждение более чем одного канала СБ). Согласно требованиям [8, п. 6.1.3], системы АПС, которые относятся к обеспечивающим элементам СБ, должны сохранять работоспособность при естественных экстремальных внешних воздействиях (максимальным расчетное землетрясение, ураган, наводнение и т. п.) и при возможных внутренних воздействиях, обусловленных проектными авариями.

На текущий момент оборудование АПС на энергоблоках АЭС Украины не удовлетворяет требованиям [11; 8, п. 6.1] по стойкости к внешним воздействующим факторам, самодиагностике и конфигурации, помехозащищенности. Как следствие, существуют недостатки в реализации принципа глубокоэшелонированной защиты согласно требованиям [3, п. 10.11.1]. Поэтому, с учетом рекомендаций МАГАТЭ [4, 5, 6], на энергоблоках АЭС Украины выполняется замена АПС на информационно-управляющую систему (ИУС) АПС, реализующую свои функции с использованием информации, поступающей от установленных в защищаемых помещениях и сооружениях пожарных извещателей (преимущественно адресных). По своим техническим характеристикам и возможностям новое оборудование представляет собой ИУС противопожарной автоматики, включающей в себя оборудование верхнего уровня (рабочие станции) и периферийное оборудование (приемно-контрольные приборы, пожарные извещатели). Все приемно-контрольные приборы ИУС АПС энергоблоков через единую информационную шину подключаются к рабочим станциям (размещенным на БЩУ, РЩУ и ЦЩУ), с возможностью управления всеми системами противопожарной автоматики помещений СБ по приоритету. Общий сигнал о пожаре на АЭС автоматически передается в объектовое пожарное депо, что сокращает время прибытия пожарной охраны. Кроме своих прямых обязанностей

(оповещение персонала о возникших нарушениях, формирование и выдача команд защитных действий), ИУС АПС обеспечивает сбор, отображение и документирование информации о возникших нарушениях, командах защитных действий и командах запрета или отключения. Оборудование ИУС АПС является электроприемником особой группы категории I в соответствии с Правилами устройства электроустановок и получает электропитание по основному вводу от двух независимых источников питания, а также по резервному вводу — от дополнительного источника резервного питания, в качестве которого предусмотрены аккумуляторные батареи. При обесточивании объекта аккумуляторные батареи обеспечивают питание ИУС в течение не менее 24 ч в дежурном режиме и не менее 3 ч — в режиме «Пожар». Устройства контроля и сигнализации являются адресными, но существует возможность подключения к установкам АПС безадресного оборудования. Применение адресных пожарных извещателей в условиях большого количества кабельных помещений на энергоблоках АЭС значительно ускоряет процесс поиска и устранения неисправностей. Это связано с возможностью получения информации от адресного извещателя или другого адресного устройства с указанием места неисправности. Модернизируемая АПС предусматривает использование кольцевой конфигурации сигнальных линий, что обеспечивает электропитание пожарных извещателей с обоих концов линии. Наличие в цепях сигнальных линий адресных устройств, позволяющих при коротком замыкании или обрыве (в том числе в результате пожара) отключить поврежденный участок цепи, обеспечивает работоспособность остальных пожарных извещателей. В процессе модернизации требованиями [8, пп. 6.1.5—6.1.8] предусматривается физическое разделение и резервирование АПС по каналам СБ.

Целью данной модернизации является замена технических средств АПС, которые входят в состав действующих при пожаре автоматических установок водяного пожаротушения, на средства, удовлетворяющие специальным требованиям к приборам и оборудованию АЭС.

Модернизация установок водяного пожаротушения помещений СБ. Установки водяного пожаротушения (УВПТ) помещений СБ являются автоматическими. Они предназначены для защиты кабельных сооружений, элементы которых участвуют в обеспечении безопасного останова реакторной установки. Как показали результаты анализа безопасности в части внутренних пожаров, пожары в кабельных помещениях значительно влияют на ЧПАЗ [1, 2], что объясняется относительно высокой вероятностью возгорания кабелей. Поэтому обеспечение безопасности энергоблоков АЭС связано с техническими возможностями УВПТ кабельных помещений СБ. Пожары, возникающие в кабельных сооружениях АЭС, самые сложные для тушения. В случае выхода из строя противопожарной автоматики для их тушения привлекается большое количество сил и средств, обеспечивающих выполнение трудоемких работ в сложных условиях (токсичные продукты горения, высокая температура, наличие оборудования под напряжением, потеря видимости).

Нарушение нормативных требований по пожарной безопасности в части управления установками пожаротушения (УПТ) приводит к необходимости модернизации установок водяного пожаротушения помещений СБ. Как указано в оценках пожарной защиты АЭС, при пожаре в помещении одного из каналов СБ в работу включается лишь один

канал автоматической УВПТ, а в случае отказа этого канала резервные линии можно включить только в режиме дистанционного или местного управления. Это приводит к потере времени; кроме того, существует вероятность ошибки оперативных действий персонала. Согласно [8, п. 7.3.3], требуется одновременный автоматический запуск двух других резервных каналов УПТ СБ: «при пожаре в помещении одного из каналов СБ, оборудованном УПТ СБ, следует открытие задвижек УПТ СБ в двух других каналах СБ». Кроме того, на некоторых энергоблоках АЭС электроприводная арматура автоматических УВПТ имеет общепромышленное исполнение и не удовлетворяет требованиям сейсмостойкости, выработала свой ресурс и нуждается в замене.

В процессе модернизации УВПТ помещений СБ производится замена электроприводной арматуры на трубопроводах автоматических УВПТ помещений СБ с заменой ручной байпасной задвижки на электрифицированную и запитка электроприводов от другой СБ. Замена электроприводной арматуры выполняется с полным демонтажом существующей и установкой новой. При замене арматуры производится замена сборок питания и панелей противопожарной автоматики. Резервирование осуществляется путем замены кабельных связей с подключением к другим СБ. В соответствии с [8, п. 7.2.3], оборудование модернизируемой УВПТ рассчитано на выполнение своих функций в условиях экстремальных внешних воздействий (максимальное расчетное землетрясение, ураган, наводнения), а также при возможных воздействиях, возникающих в результате проектных аварий.

Внедрение систем газового пожаротушения на АЭС. В соответствии с [8, п. 1.4 прил. Е], а также рекомендациями МАГАТЭ [4, 5, 6], помещения щитов управления, а также помещения с электрической и электронной аппаратурой автоматизированного управления технологическим процессом должны быть оснащены стационарной установкой газового пожаротушения (УГП). В качестве компенсирующего мероприятия указанные помещения оснащены передвижными углекислотными огнетушителями с ручным пуском.

Количество помещений на энергоблоке, подлежащих оснащению УГП, определяется из расчета удельной пожарной нагрузки. Электротехническое помещение (без постоянного пребывания персонала!) при удельной пожарной нагрузке более 200 МДж/м², с учетом коммуникаций в межпольных пространствах, подлежат оснащению автоматической УГП. Согласно [8, п. 2.5 прил. Е], помещение, в котором постоянно находится обслуживающий персонал или с удельной пожарной нагрузкой не выше 200 МДж/м², оснащается неавтоматическими УГП. К неавтоматическим относятся установки пожаротушения, в которых используют шланг с раструбом (например, батарея газового пожаротушения 2БР-2МА). Включение неавтоматических УГП осуществляется вручную.

АЭС оснащаются установками УГП согласно перечню помещений, приведенному в обязательном приложении Е требований [8]. К таким помещениям относятся помещения БЩУ, ЦЩУ и РЩУ с их аппаратными связями, блочной УВС, общестанционной УВС, щитов КИП и автоматики, помещения систем безопасности УКТС, АКНП, СУЗ.

Автоматическая УГП представляет собой комплекс приборов автоматики и технологического оборудования. В ее состав входят приемно-контрольные приборы, пожарные извещатели, баллоны для хранения газового огнетушащего

вещества (ГОТВ), узлы управления, трубопроводы и насадки-распылители, обеспечивающие доставку и выпуск газа в защищаемое помещение. В основу внедряемого на АЭС газового пожаротушения положен принцип объемного тушения — снижение концентрации кислорода в защищаемом помещении путем подачи ГОТВ необходимой концентрации. Однако главное действие ГОТВ в процессе тушения заключается в химическом ингибировании (замедлении) реакции горения. В качестве ГОТВ для тушения используются озонобезопасные хладоны (бесцветные газы, сжиженные под давлением, негорючие, невзрывоопасные и малотоксичные), перечень которых определен [11, п. 8.2.4]. Для систем газового пожаротушения на энергоблоках АЭС применяют хладон 125 (CF₃CHF₂). Хладон выходит из баллонов под действием давления газа. В качестве газа-вытеснителя для обеспечения транспортировки хладона по трубной разводке в защищаемое помещение применяется азот. Особенно важным качеством хладонов, используемых в системах газового пожаротушения, является их минимально вредное воздействие на человека. Безопасность человека определяется концентрацией ГОТВ и продолжительностью его воздействия на организм. Минимальная нормативная концентрация хладона 125 для объемного тушения составляет 10,5 %; минимальный уровень, при котором наблюдается вредное воздействие (LOAEL), — 10 % [12]. Поскольку нормативная концентрация для объемного тушения превышает LOAEL, хладон 125 используют для тушения объемным способом в помещениях без постоянного пребывания персонала.

Обязательным условием эксплуатации УГП являются наличие и исправность приточно-вытяжной вентиляции в защищаемом помещении. Медленная утечка ГОТВ в условиях работающей в помещении вентиляции относительно безопасна. При эксплуатации УГП в обязательном порядке контролируются масса ГОТВ на предмет несанкционированных утечек, а также давление газа-вытеснителя в каждом сосуде установки, с выдачей сигнализации о потере давления. Согласно ДСТУ 4095:2012 [13, п. 4.1.5.7], потеря массы ГОТВ на протяжении года с технических средств УГП не должна превышать 5 %. С этой целью систематически, согласно регламенту технического обслуживания на АЭС, масса ГОТВ проверяется при помощи устройств контроля массы. Устройства должны обеспечивать выявление протечек в случае снижения массы ГОТВ на 5 % и более. Количество ГОТВ должно быть минимально необходимым для достижения нормативной концентрации (10,5 %) при объемном тушении в защищаемом помещении.

В помещениях, защищаемых УГП, принимаются меры по устранению и недопущению необоснованных проемов, устанавливаются доводчики дверей, уплотняются кабельные проходки. В автоматических УГП объемного тушения, которые защищают помещения с возможным пребыванием людей, в обязательном порядке предусмотрены устройства, обеспечивающие безопасность лиц, входящих в зону, где состав атмосферы мог стать опасным в результате выхода ГОТВ из системы:

устройство отключения режима автоматического пуска; устройство задержки выпуска ГОТВ (не менее 30 с после подачи сигналов об эвакуации);

звуковые и световые эвакуационные оповещатели (в помещении табло «Газ — уходи!», перед входом в помещение табло «Газ — не входить!»).

Аналогичная звуковая и световая сигнализация должна быть перед входом в смежные помещения, которые имеют

выход только через защищаемое помещение. Задержка выпуска ГОТВ после включения УГП необходима для эвакуации людей, остановки оборудования вентиляции и кондиционирования, закрытия воздушных заслонок, противопожарных клапанов. При этом время полного закрытия заслонок и клапанов на воздуховодах вентиляционных систем в защищаемом помещении не должно превышать указанного времени задержки. Отключение автоматического пуска происходит с сохранением дистанционного и местного управления. Автоматический пуск отключается в том случае, если в помещении присутствуют люди, и восстанавливается, если людей в помещении нет. При открывании любой из входных дверей в защищаемом помещении автоматический пуск УГП объемного тушения блокируется автоматически. Данное требование направлено на повышение безопасности обслуживающего персонала, находящегося в защищаемом помещении.

Автоматический пуск УГП происходит при условии срабатывания не менее двух пожарных извещателей АПС (входящей в состав УГП), включенных по логической схеме «И». УГП могут включаться также с помощью устройств дистанционного пуска, которые размещают возле дверей, снаружи защищаемого помещения. Устройства дистанционного пуска согласно [14] защищают от несанкционированного запуска.

Основное преимущество ГОТВ по сравнению с другими огнетушащими веществами заключается в том, что они не причиняют ущерба защищаемому оборудованию. ГОТВ называют «чистыми» средствами, так как после их применения нет никаких остатков. Поскольку эти вещества непроводящие, они по своим совокупным характеристикам подходят для защиты электрического и электронного оборудования, находящегося под напряжением. Одним из важных моментов является то, что в процессе тушения пожара все оборудование продолжает работать в штатном режиме.

Внедрение автоматических УПТ в помещениях дизель-генераторов РДЭС. В помещениях РДЭС, где установлены дизельные электрические станции, наибольшую пожарную опасность представляет дизельное топливо; при этом такие помещения РДЭС не оборудованы системой автоматического пожаротушения. Согласно проекту, в помещениях РДЭС смонтирована только АПС (модернизация АПС РДЭС реализуется в рамках модернизации АПС помещений СБ).

Согласно [11, п. 1.7, табл. А2], с целью повышения безопасности путем защиты от пожаров, взрывов, предотвращения угрозы жизни людей, помещения электрогенераторных с двигателями внутреннего сгорания, к которым относятся помещения дизель-генераторов РДЭС, должны оборудоваться системами автоматического пожаротушения.

Для выбора автоматических УПТ в помещениях дизель-генераторов РДЭС по виду огнетушащего вещества (для класса пожара «В» — горение жидких веществ) эксплуатирующей организацией проведены сравнительные оценки пенных и порошковых УПТ. Системы водяного и газового пожаротушения не рассматривались ввиду их неэффективности (для класса пожара «В») и необходимости вложения значительных материальных средств для реализации сложных решений по оснащению существующих помещений технологическими коммуникациями подвода и отвода воды, газа и герметизации помещений. В результате оценки принято решение о внедрении системы автоматического порошкового пожаротушения. К основным недостаткам применения пенных УПТ для помещений

РДЭС отнесены высокая стоимость оборудования, высокая стоимость периодической замены пенообразователя, а также неэффективность ликвидации огня при низкой температуре окружающей среды. Стоит отметить высокий риск возможного возникновения короткого замыкания на электрооборудовании, которое находится под напряжением (класс пожара «Е»).

Преимущества порошковых УПТ состоят в высокой тушащей способности и универсальности. Их используют для тушения твердых (класс пожара «А»), жидких (класс пожара «В»), газообразных веществ (класс пожара «С») и находящихся под напряжением электроустановок (класс пожара «Е»). Применяемый порошок не критичен к климатическим и другим внешним условиям (порошковые УПТ работают при температуре от -50 до $+50$ °С). К достоинствам порошкового тушения также можно отнести простоту конструкции установки, невысокую стоимость огнетушащего вещества и его способность к длительному хранению. Порошковые смеси обладают свойством сохранять свой химический и структурный состав в течение длительного времени. Из недостатков можно назвать химическую активность порошковых смесей, что может привести к порче металлических поверхностей оборудования из-за нежелательных химических реакций. Нельзя не отметить отрицательное воздействие порошковых огнетушащих смесей на организм человека. Применение порошка для тушения пожара допускается только после эвакуации персонала. Управление автоматикой порошковых УПТ производится от существующей АПС РДЭС. Заряжаются данные установки огнетушащим порошком, который должен соответствовать требованиям [15]; в качестве рабочего газа в установках используют сжатый воздух или азот.

При нахождении персонала в помещении порошковые УПТ снимаются с автоматики. Условия эксплуатации порошковых и газовых УПТ определены требованиями [11, п. 13.4]. Внедрение на АЭС систем как порошкового, так и газового пожаротушения предусматривает обязательное обучение обслуживающего персонала, работающего в защищаемых помещениях, на тему возможных опасных факторов, которые возникают во время подачи ОТВ, а также по действиям персонала в случае сработки установок.

Выводы

Мероприятия по модернизации установок пожаротушения внедряются по согласованию с Госатомрегулированием Украины при постоянном контроле на всех этапах ее проведения (разработка концепции, монтаж, пусконаладочные работы, ввод в опытную и промышленную эксплуатацию) путем оценки материалов, обосновывающих безопасность, и их согласования. Оценка реального состояния противопожарной защиты, обнаруженные дефициты и отклонения от требований нормативных документов в этой области позволяют эксплуатировать энергоблоки АЭС Украины в проектных пределах и не требуют их остановки для устранения недостатков. Модернизация установок пожаротушения за счет функциональных возможностей внедряемого оборудования и реализации стратегии глубокоэшелонированной защиты обеспечит достаточную степень противопожарной защиты и даст возможность повысить уровень безопасности энергоблоков АЭС Украины в соответствии с требованиями национальных нормативных документов и международных стандартов безопасности.

Список использованной литературы

1. Отчет по анализу безопасности. Сводный отчет. Блок № 5. Запорожская АЭС. 21.5.70.ОБ.00. Раздел 12.4.4. Заключение / ГП «Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом»». К., 2010. 986 с.
2. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок № 2. Отчет по анализу безопасности. Сводный отчет. Кн. 2. 23.2.39.ОБ.00. Раздел 11.6.13. Выводы / ГП «Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом»». К., 2014. 308 с.
3. НП 306.2.141–2008. Общие положения безопасности атомных станций. К. : Держ. комітет ядерного регулювання України, 2008. 35 с.
4. Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-440, модель 213 и их категории : Публикация внебюджетной программы по безопасности АЭС с реакторами РБМК и ВВЭР. Вена : МАГАТЭ, 1997. 402 с. (IAEA-EBP-WWER-03).
5. Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000/320 и их категории : Публикация внебюджетной программы по безопасности АЭС с реакторами РБМК и ВВЭР. Вена : МАГАТЭ, 1997. 255 с. (IAEA-EBP-WWER-05).
6. Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000 (малая серия) и их категории : Публикация внебюджетной программы по безопасности АЭС с реакторами РБМК и ВВЭР. Вена : МАГАТЭ, 1997. 224 с. (IAEA-EBP-WWER-14).
7. Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций : Руководство по безопасности. Вена : МАГАТЭ, 2008. 71 с. (Серия норм МАГАТЭ по безопасности № NS-G-1.7).
8. ВБН В.1.1-034-03.307-2003. Защита от пожара. Противопожарные нормы проектирования атомных электростанций с водо-водяными энергетическими реакторами. К. : М-во топлива и энергетики Украины, 2003. 56 с.
9. НП 306.2.205-2016. Вимоги до систем електропостачання, важливих для безпеки атомних станцій. *Офіційний вісник України*. 12.02.2016. № 10. С. 179. Ст. 465.
10. Комплексная (сводная) программа повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины. К. : ГП «Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом», 2010. 461 с.
11. ДБН В.2.5-56:2014. Системы протипожежного захисту. К. : Мінрегіону України, 2015. 127 с.
12. ДСТУ 4466-8:2008. Системы газового пожежогасіння. Проектування, монтажування, випробування, технічне обслуговування та безпека. Ч. 8 : Вогнегасна речовина HFC 125 (ISO 14520-8:2006, MOD). К. : Мінрегіонбуд України, 2010. 13 с.
13. ДСТУ 4095:2012. Системы газового пожежогасіння. Модулі, комплекти модулів та батареїне устаткування. К. : Мінекономрозвитку України, 2013. 26 с.
14. ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание. М. : МВД СССР, 1985. 8 с.
15. ДСТУ 3105-95. Порошки вогнегасні. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. К. : Держстандарт України, 1998. 27 с.

References

1. Safety Analysis Report. Summary Report. Unit 5. Zaporizhzhya NPP. 21.5.70.OB.00. Section 12.4.4. Conclusion. National Nuclear Energy Generating Company “Energoatom” [Otchiot po analizu bezopasnosti. Svodnyi otchiot. Blok No. 5. Zaporozhskaiia AES. 21.5.70.OB.00. Razdel 12.4.4. Zakliucheniie, GP “Natsionalnaia atomnaia energogeneriruiushchaia kompaniia “Energoatom”], Kyiv, 2010, 986 p. (Rus)
2. South Ukraine NPP. Unit 2. Safety Analysis Report. Summary Report. Book 2. 23.2.39.OB.00. Section 11.6.13. Conclusions. National Nuclear Energy Generating Company “Energoatom” [Yuzhno-Ukrainskaia AES. Energoblok No. 2. Otchiot po analizu bezopasnosti. Svodnyi otchiot. Kniga 2. 23.2.39.OB.00. Razdel 11.6.13. Vyvody. “Natsionalnaia atomnaia energogeneriruiushchaia kompaniia “Energoatom”], Kyiv, 2014, 308 p. (Rus)

3. NP 306.2.141–2008. General Safety Provisions for Nuclear Power Plants. [Obshchiie polozheniia bezopasnost atomnykh stantsii], Kyiv, State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, 2008, 35 p. (Rus)
4. Safety Problems of Nuclear Power Plants with VVER-440 Reactors, Model 213 and Their Categories, Publication of Extrabudgetary Program on the Safety of RBMK and VVER Nuclear Power Plants [Problemy bezopasnosti atomnykh elektrostantsii s reaktorami VVER-440, model 213 I ikh kategorii: Publikatsiia vnebiudzhethnoi programmy po bezopasnosti AES s reaktorami RBMK I VVER], Vienna, IAEA, IAEA-EBP-WWER-03, 1997, 402 p. (Rus)
5. Safety Problems of Nuclear Power Plants with VVER-1000/320 Reactors and Their Categories, Publication of Extrabudgetary Program on the Safety of RBMK and VVER Nuclear Power Plants [Problemy bezopasnosti atomnykh elektrostantsii s reaktorami VVER-1000/320 I ikh kategorii: Publikatsiia vnebiudzhethnoi programmy po bezopasnosti AES s reaktorami RBMK i VVER], Vienna, IAEA, IAEA-EBP-WWER-05, 1997, 255 p. (Rus)
6. Safety Problems of Nuclear Power Plants with VVER-1000 Reactors (Minor Series) and Their Categories: Publication of Extrabudgetary Program on the Safety of RBMK and VVER Nuclear Power Plants [Problemy bezopasnosti atomnykh elektrostantsii s reaktorami VVER-1000 (malaia seriia) I ikh kategorii: Publikatsiia vnebiudzhethnoi programmy po bezopasnosti AES s reaktorami RBMK I VVER], Vienna, IAEA, IAEA-EBP-WWER-14, 1997, 224 p. (Rus)
7. Protection Against Internal Fires and Explosion in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Guide [Zashchita ot vnutrennikh pozharov i vzryvov pri proektirovanii atomnykh elektrostantsii: Rukovodstvo po bezopasnosti], Vienna, IAEA, Safety Standards Series No. NS-G-1.7, 2008, 71 p. (Rus)
8. VBN V.1.1–034–03.307–2003. Fire Protection. Fire Protection Standards in the Design of Nuclear Power Plants with Water-Water Power Reactors [Zashchita ot pozhara. Protivopozharnnye normy proektirovaniia atomnykh elektrostantsii s vodo-vodianymi energeticheskimi reaktorami], Kyiv, Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, 2003, 56 p. (Rus)
9. NP 306.2.205–2016. Requirements for Power Supply Systems Important to Safety of Nuclear Power Plants. [Vymohy do system elektropostachannia, vazhlyvykh dlia bezpeky atomnykh stantsii], *Official Journal of Ukraine*, 12 December 2016, No. 10, Art. 465, p. 179. (Ukr)
10. Comprehensive (Integrated) Safety Improvement Program for Ukrainian NPPs [Kompleksnaia (svodnaia) programma povysheniia bezopasnosti energoblokov AES Ukrainy], Kyiv, National Nuclear Energy Generating Company “Energoatom”, 2010, 461 p. (Rus)
11. DBN V.2.5–56:2014. Fire Protection Systems [Systemy protypozhzhnoho zakhystu], Kyiv, Ministry of Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2015, 127 p. (Ukr)
12. DSTU 4466–8:2008. Gas Fire Extinguishing Systems. Design, Mounting, Resting, Maintenance and Safety. Part 8. HFC 125 Fire Extinguishing Agent. ISO 14520–8:2006, MOD [Systemy hazovoho pozhezhohasinnia. Proektuvannia, montuvannia, vyprobuvannia, tekhnichne obsluhovuvannia ta bezpeka. Ch. 8: Vohnehasna rechovyna HFC 125 (ISO 14520–8:2006, MOD)], Kyiv, Ministry of Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2010, 13 p. (Ukr)
13. DSTU 4095:2012. Gas Fire Extinguishing Systems. Modules, Sets of Modules and Battery Supplies. [Systemy hazovoho pozhezhohasinnia. Moduli, komplekty moduliv ta batareine ustatkuvannia], Kyiv, Ministry of Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2013, 26 p. (Ukr)
14. GOST 12.4.009–83. System of Labor Safety Standards. Fire Equipment for Protection of Installations. Main Types. Location and Maintenance [Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaia tekhnika dlia zashchity ob'ektov. Osnovnyie vidy. Razmesheniie i obsluzhivaniie], Moscow, USSR Ministry of Internal Affairs, 1985, 8 p. (Rus)
15. DSTU 3105–95. Fire Extinguishing Powders. General Technical Requirements and Testing Methods [Poroshky vohnehasni. Zahalni tekhnichni vymohy i metody vyprobuvannia], Kyiv, State Standard of Ukraine, 1998, 27 p. (Ukr)

Получено 29.05.2017.