

УДК 614.841

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Жворонков И.С., Ильюшонок А.В.**

Проанализированы основные причины возникновения пожаров на атомных электростанциях разных стран. Рассмотрена последовательность мероприятий по проведению анализа пожарной безопасности АЭС.

*Ключевые слова:* пожар, пожарная зона, АЭС, пожарная безопасность АЭС, анализ пожарной опасности.

(Поступила в редакцию 13 апреля 2018 г.)

**Введение.** Ядерная энергетика начала развиваться менее века назад (с 1954 г.). Несмотря на то, что безопасность и защита от угроз разного уровня тщательно прорабатывается еще на стадии проектирования АЭС отмечаются случаи пожаров на данных объектах.

Внутриплощадочный пожар – событие, заключающееся в возгорании и горении (вплоть до полного сгорания) находящихся или обращающихся в зданиях, сооружениях, отдельных их частях (помещениях) или на открытых частях площадки АЭС горючих веществ и материалов [1]. Внутриплощадочные пожары могут инициировать события каскадного отказа во всей системе безопасности станции, нарушать целостность существующих физических барьеров ядерной безопасности или работоспособность других систем.

Современный стандарт противопожарной защиты МАГАТЭ основан на: идентификации пожарных зон, которые разделяют основные и резервные элементы оборудования, связанного с безопасностью станции; сокращении (предпочтительно исключении) горючих материалов; обеспечении надлежащими системами обнаружения и тушения пожара и внедрении звуковой системы оповещения о пожаре [2].

На уже действующих станциях, где реконструкция не всегда оправдана с экономической точки зрения, в качестве дополнительных мер пожарной безопасности больше внимания уделяют системам обнаружения и тушения пожаров. Несмотря на большие усилия, сосредоточенные на пожарной безопасности, один значительный пожар происходит на АЭС в среднем каждые 7–10 лет. (Значительным пожаром является тот, который может угрожать работоспособности одной или нескольких систем безопасности. Пожар на АЭС представляет угрозу ядерной безопасности станции в том случае, если он влияет на безопасную работу реактора.)

**Основная часть.** Остановимся на некоторых наиболее известных пожарах в истории всемирной ядерной энергетике, изменивших подход к проектированию не только пожарной, но и в целом системы безопасности станции.

АЭС Browns Ferry (США), 20 марта 1975 г. [3]. Причиной пожара стал один из рабочих АЭС, который искал место возможной протечки воздуха через проходку кабеля в бетонной стене по отклонению пламени зажженной свечи. Обнаружив место утечки, он заделал его кусочками полиуретана и повторно использовал пламя свечи как индикатор течи. Оказалось, что течь сохранилась, а от пламени свечи полиуретан загорелся, и огонь с потоком воздуха стал настолько быстро распространяться по кабельному каналу, что его не удалось ликвидировать с помощью огнетушителей.

Огонь, возникший в кабельной проходке между распределительным щитом, который расположен под зданием реактора, распространился в горизонтальном и вертикальном направлениях по всем 10 кабельным тоннелям. В результате пожара, длившегося 7 ч, было повреждено около 2000 силовых, управляющих и контрольных кабелей.

Данный пожар выявил крупный недостаток проекта, связанный с принципами разводки и укладки кабелей: все кабели систем безопасности находились в одном канале и одинаково пострадали, выведя из строя все системы безопасности. После аварии были приняты меры по повышению защиты АЭС от пожара путем пространственного разделения кабелей, относящихся к разным системам, либо путем разделения их огнестойкими барьерами в одном кабельном канале.

Белоярская АЭС (СССР), 31 декабря 1978 г. [4]. Пожар на втором энергоблоке, возникший от падения плиты перекрытия машинного зала на маслобак турбогенератора. В результате выгорел весь контрольный кабель.

Запорожская АЭС (СССР), 27 января 1984 г. [4]. Пожар на первом энергоблоке в период подготовки его к пуску. После самовозгорания одного из блоков реле огонь в течение

18 ч метался по 50-метровой кабельной шахте. Причиной пожара стало использование на станции полихлорвиниловой изоляции, которая воспламенялась, плавилась и, обрываясь, поджигала пучки кабелей на нижних отметках. Выгорела вся кабельная шахта – 700 км различных кабелей. После этого случая на всех строящихся в СССР блоках АЭС стали пользоваться только кабелем с несгораемой изоляцией.

АЭС Vandellos Nuclear Power Plant (Испания), 19 октября 1989 г. Пожар на первом энергоблоке [4]. Из-за внезапной остановки одной из турбин произошел перегрев и разложение смазочного масла, что привело к образованию водорода и его последующему взрыву. На станции отсутствовала система пожаротушения, а вблизи не было пожарной части. В итоге прибывшие пожарные не знали расположения и функции объектов станции, не были ознакомлены с планом аварийных действий и вместо пены применили воду. Это привело к тому, что тушение пожара продолжалось 4 ч. В результате пожара пострадали только системы энергоснабжения турбин и охлаждения реактора.

Чернобыльская АЭС (СССР), 11 октября 1991 г. [4]. Пожар произошел в результате короткого замыкания в кабеле машинного зала второго энергоблока. Как и при аварии на четвертом блоке ЧАЭС в апреле 1986 г., развитие пожара стимулировало использование при ее строительстве горючих материалов: термопластобетона, рубероида и битума. Были разрушены девять пролетов крыши, выведено из строя турбинное оборудование.

АЭС Monju (Япония), декабрь 1995 г. [5]. На реакторе произошла утечка натрия. Около трех тонн натрия вытекли на пол энергоблока. В результате реакций образовался водород, температура в помещении повысилась до нескольких сотен градусов, произошел крупный пожар. Причиной аварии стала интенсивная вибрация внутри одной из труб перекачки натрия, вызванная дефектом сварки труб.

Несмотря на развитие атомной индустрии, совершенствование подходов к пожарной безопасности АЭС, пожары продолжают случаться и сегодня.

На Южно-Украинской АЭС в Украине 16 января 2015 г. загорелся автотрансформатор связи. Вероятнее всего, произошло это из-за разгерметизации бака с последующей течью масла и его возгорания от электрической дуги короткого замыкания [6].

На АЭС Indian Point Energy Center в США 9 мая 2015 г. произошел пожар, вызванный неисправностью изоляции в трансформаторе. В результате пожара смесь масла, воды и пены попала в реку Гудзон [7].

На АЭС Flamanville Nuclear Power Plant во Франции 9 февраля 2017 г. из-за механических проблем, начал перегреваться и загорелся вентилятор, а далее последовал взрыв скопившегося водорода [8].

На АЭС Bugey Nuclear Power Plant во Франции 19 июня 2017 г. пожар начался после операции технического обслуживания, из-за того, что персонал работал на крыше с паяльной лампой [9].

Влияние вышеперечисленных пожаров на состояние активной зоны реактора оценить сложно, но понятно, что в той или иной степени они затрагивают системы безопасности станции в нормальных и аварийных условиях. Поэтому противопожарная защита АЭС в конечном итоге должна обеспечивать функционирование систем, необходимых для того, чтобы осуществить:

- остановку реактора (прекращение цепной реакции деления);
- остаточное охлаждение активной зоны [10].

Это достигается на основе трех процедурных элементов философии противопожарной защиты «Оборона в глубине» (Defense in Depth) [11], которая была разработана еще в 1980-х годах прошлого века, а именно:

1) предотвращение возникновения пожаров; эксплуатация станции и все работы по ее модификации должны быть такими, чтобы свести к минимуму вероятность возникновения пожара;

2) в случае возникновения пожара его быстрое обнаружение и тушение: раннее обнаружение гарантирует, что сигнал «пожар» появится на пульте управления как можно раньше, что увеличивает вероятность его успешного тушения, а также минимизирует повреждение станции;

3) обеспечение защиты конструкций и систем, необходимых для безопасного отключения реактора в случае, когда не удастся быстро обнаружить и потушить пожар; это достигается наличием пассивных барьеров противопожарной защиты для ограничения распространения огня, а также наличием подготовленной пожарной команды вблизи АЭС.

Данная философия реализуется в современных документах, предъявляющих общие требования к пожарной безопасности АЭС. Согласно своду правил [12] АЭС удовлетворяет требованиям пожарной безопасности, если:

- радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду в случае пожара не приведет к превышению установленных доз облучения персонала и населения, нормативов по выбросам и сбросам, содержанию радиоактивных веществ в окружающей среде;

- реализована защита персонала от воздействия опасных факторов пожара.

Для обеспечения пожарной безопасности АЭС должен быть разработан комплекс организационных и технических мероприятий, предусматривающий:

- защиту систем, важных для безопасности АЭС, от воздействия опасных факторов пожара;

- управление системами безопасности, обеспечение перевода реактора в подкритическое состояние и удержание его в этом состоянии, отвод тепла от реактора в условиях пожара;

- резервирование систем (элементов) безопасности АЭС, позволяющее им в условиях пожара выполнять свои функции;

- разделение каналов систем безопасности АЭС противопожарными преградами с регламентированными пределами огнестойкости, безопасными расстояниями и противопожарными барьерами.

Противопожарная защита зданий, сооружений и помещений должна быть выполнена как единая система, включающая в себя комплекс технических решений по предотвращению и ограничению распространения пожара, его обнаружению и ликвидации, обеспечению безопасности персонала, предусматривающая:

- компоновку, исключающую размещение элементов разных каналов безопасности, а также систем (элементов) безопасности и нормальной эксплуатации в одной пожарной зоне;

- локализацию пожара в пределах пожарной зоны противопожарными преградами и противопожарными барьерами;

- ликвидацию пожара системой противопожарной защиты и подразделениями пожарной охраны;

- при размещении в пожарной зоне элементов разных каналов систем безопасности, противопожарную защиту систем (элементов) каждого канала;

- оповещение персонала АЭС о возникновении пожара, его эвакуацию или работу (действия) при пожаре в течение времени, необходимого для принятия мер по обеспечению безопасности АЭС.

Наиболее распространенными причинами пожаров на АЭС в порядке уменьшения частоты пожара являются [11,13]:

- утечки масла и разливы нефти (включая пожары дизельных генераторов, насосов, пожары, вызванные попаданием масла в горячие трубы);

- утечки и взрывы водорода (водород присутствует как часть реакторной химии);

- операции сварки и резки;

- электрические неисправности в распределительных устройствах, выключателях, измерительной аппаратуре, трансформаторные неисправности, кабель и кабельные соединения;

- ошибки персонала.

С точки зрения влияния пожара на безопасность АЭС наиболее уязвимыми являются здания и помещения, где находятся оборудование и установки, содержащие горючие масла (генератор, главный циркуляционный насос, турбина); помещения, в которых из-за нарушения условий эксплуатации может образоваться скопление водорода (здание реактора, машинный зал); а также помещения, где сосредоточено большое количество электрических кабелей (здание безопасности, здание управления). Особенно хотелось бы выделить помещение блочного пункта управления, откуда осуществляется управление системами безопасности.

Пожары на АЭС, которые являются значительными с общественной точки зрения, могут быть незначительными с точки зрения ядерной и радиационной безопасности. Процесс анализа пожарной опасности предполагает подход, при котором каждая пожарная зона и находящиеся в ней помещения и системы оцениваются поочередно. Различия в деталях, такие как маршрутизация ключевых электрических кабелей, разделение и ориентация кабельных лотков, схема противопожарной защиты, используемая для конкретного отсека, и процедуры, применяемые операторами в ответ на пожар, могут значительно влиять на условия распространения пожара.

Анализ пожарной опасности требует подробной информации об оборудовании, местонахождении противопожарных барьеров, маршрутизации кабелей, системах вентиляции, системе противопожарной защиты, а также процедурах по эксплуатации систем и элементов. Ниже приведена последовательность проведения надлежащего анализа пожарной опасности (АПО) [14].

Предварительным шагом для АПО является изучение чертежей компоновки установки, компоновки оборудования, маршрутизации кабельных лотков, размещения и квалификации огнестойких барьеров. В результате здания разбиваются на пожарные зоны и пожарные отсеки.

Далее следует инвентаризация горючих материалов. Составляется список как постоянных, так и временных горючих материалов в каждом пожарном отсеке. Наличие временных материалов может быть связано с текущим обслуживанием или другими видами деятельности. В список включаются:

- 1) воспламеняющиеся и горючие вещества, такие как: краска, растворители, гидравлические жидкости, масла и т. д.;
- 2) машины и оборудование для наполнения маслом;
- 3) полная и подробная информация о кабелях: тип изоляции, плотность в лотке, ориентация и т. д.;
- 4) угольные фильтры и высокоэффективные поглотители твердых частиц;
- 5) легковоспламеняющиеся газы и материалы;
- 6) ионообменные смолы и материалы, которые могут храниться с целью иммобилизации радиоактивных отходов;
- 7) пластмассы, защитная одежда, упаковочные материалы, временные сооружения, такие как строительные леса;
- 8) изоляционные материалы вентиляционных каналов;
- 9) мебель и отделочные материалы.

Собирается информация о физических и химических свойствах этих материалов.

Далее должны быть проанализированы потенциальные стационарные и возможные переносимые источники воспламенения в каждом пожарном отсеке. К стационарным источникам относятся: искры, горячие поверхности и открытое пламя. Необходимо учитывать, что нарушение нормальных условий эксплуатации оборудования может привести к чрезмерному трению, электрическим дугам, т. е. возникновению стационарного источника возгорания. Переносимые источники воспламенения могут быть вызваны работами, связанными с ремонтом и обслуживанием, такими как: сварка, резка, термическая обработка и т. д.

На основании вышеизложенного предполагается сценарий развития пожара. Составляется документация (инструкции) для действий персонала, оценки по распространению пожара и его тушению.

В сценарии развития пожара учитывается оснащение пожарных отсеков автоматическими системами пожаротушения. Рекомендуемые согласно нормам проектирования [15] огнетушащие составы и способы тушения приведены в таблице.

**Таблица. – Рекомендуемые огнетушащие вещества и материалы**

Защищаемый объект	Огнетушащие вещества, составы и способы тушения
Кабельные помещения, генераторы с воздушным охлаждением, силовые трансформаторы	Распыленная и тонкораспыленная вода
Помещения и оборудование, содержащие горючие жидкости	Распыленная и тонкораспыленная вода, воздушно-механическая пена
Помещения с электронным оборудованием, герметичные отсеки и помещения, содержащие твердые горючие вещества и горючие жидкости	Газовые огнетушащие составы, иные средства объемного пожаротушения
Помещения и оборудование, содержащие металлы: магний, натрий, литий и пр.	Порошковые составы специального назначения
Помещения и оборудование, содержащие горючие газы	Порошковые составы

Наиболее распространенными огнетушащими веществами в установках автоматического пожаротушения на АЭС являются вода и газовые огнетушащие составы. В связи с этим может возникать ряд сложностей:

при использовании воды могут быть повреждены установки или элементы в защищаемых помещениях;

при использовании газовых составов необходимо обеспечить отсутствие людей в защищаемом помещении.

Автоматические системы пожаротушения подвержены ложному срабатыванию. Чаще всего причинами ложных срабатываний являлись [16]:

- ошибки персонала (22,8 %);
- утечка огнетушащего вещества в системах пожаротушения на водной основе (22,1 %);
- неизвестные причины (13,2 %);
- непреднамеренное срабатывание (11 %);
- ошибки в алгоритмах процедур тестирования и обслуживания (8,8 %);
- пар, пыль, влажность, вызывающие срабатывание дымовых извещателей (8,1 %);
- скачки давления в системах на водной основе (5,1 %);
- дым от сварки и техобслуживания (2,9 %);
- электрические сбои в системах управления (2,2 %);
- намоченные (увлажненные) извещатели (2,2 %);
- тепловые приборы, вызывающие срабатывание извещателей (1,5 %).

Для уменьшения частоты ложного срабатывания установок пожаротушения предложены следующие мероприятия. Вводы кабелей в электрические шкафы должны быть герметизированы от проникновения воды. Чувствительные компоненты оборудования должны быть защищены от попадания огнетушащих веществ. Сопла установок газового пожаротушения не должны располагаться вблизи компонентов, чувствительных к охлаждению. Сигнал от одиночных дымовых извещателей не должен использоваться в качестве единственного критерия для запуска установки пожаротушения. При проведении работ по техническому обслуживанию необходимо выполнение административных процедур, исключающих непреднамеренный запуск системы пожаротушения (например, при сварке или резке дымовые извещатели должны быть отключены).

База данных USNRC [16, 17] об инцидентах с пожарами на АЭС в США, произошедших в 1965–1985 гг., дает интересную статистику об обнаружении и тушении пожаров. Число пожаров, обнаруженных персоналом, превышает число пожаров, обнаруженных системами пожарной сигнализации, примерно в 5 раз. Почти все обнаруженные пожары были потушены вручную. Данная статистика объясняется следующими причинами. Первая причина заключается в том, что системами пожарной сигнализации и пожаротушения оснащались не все помещения станции. Второй причиной является то, что многие пожары либо вызваны действиями персонала, либо происходили в процессе проверок и операций по техническому обслуживанию, в течение которых персонал присутствует в непосредственной близости к месту возгорания.

**Выводы.** Как показывает проведенный анализ, основными причинами пожаров на АЭС служат: утечки масла, скопление водорода, электрические неисправности, проводимые с огнем работы, ошибки персонала.

При проектировании системы пожарной безопасности АЭС (с учетом ограничения распространения пожара за счет разделения здания на пожарные отсеки), планируя размещение систем обнаружения, оповещения и тушения пожара, дымоудаления и вентиляции, следует учитывать: пожарную нагрузку – маслосистемы, кабельные изделия, временные вещества и материалы; источники зажигания – открытый огонь, трущиеся механизмы; возможные последствия нарушений условий эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станций для инициирующих событий, обусловленных внутриплощадочными пожарами и затоплениями: РБ-076-12. – Введ. 05.09.2012. – М.: Федер. служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2012. – 81 с.
2. Fire safety in the operation of nuclear power plants No. NS-G-2.1, 2004. – 43 p.
3. Авария на АЭС Browns Ferry (США), связанная с повреждением кабелей собственных нужд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation\\_accidents/m\\_other\\_accidents/1975\\_god/Avarija\\_na\\_AJES\\_Browns\\_ferry\\_SSHA\\_svjaza](http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation_accidents/m_other_accidents/1975_god/Avarija_na_AJES_Browns_ferry_SSHA_svjaza). – Дата доступа: 25.12.2017.
4. Аварии на атомных электростанциях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.webkursovnik.ru/kartgotrab.asp?id=-184602>. – Дата доступа: 25.12.2017.
5. Крупнейшие радиационные аварии и катастрофы современности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.topnews.ru/photo\\_id\\_6663\\_13.html](http://www.topnews.ru/photo_id_6663_13.html). – Дата доступа: 25.12.2017.

6. На Южно-Украинской АЭС загорелся трансформатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kr.ua/incidents/486400-na-yuzhno-ukraynskoi-aes-zahorelsia-transformator>. – Дата доступа: 25.12.2017.
7. Entergy report: insulation failure sparked transformer fire at Indian Point [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newyork.cbslocal.com/2015/06/30/entergy-insulation-failure-fire-indian-point/>. – Дата доступа: 25.12.2017.
8. Explosion à la centrale nucléaire de Flamanville [Electronic resource]. – Mode of access: <https://fr.sputniknews.com/france/201702091030009783-explosion-cantrale-nucleaire-france/>. – Date of access: 25.12.2017.
9. Incendie à la centrale nucléaire de Bugey [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.liberation.fr/direct/element/incendie-a-la-centrale-nucleaire-de-bugey\\_66259/](http://www.liberation.fr/direct/element/incendie-a-la-centrale-nucleaire-de-bugey_66259/). – Date of access: 25.12.2017.
10. Mawby, F.D. The approach adopted in England and Wales in defining the level of fire safety at nuclear power stations / F.D. Mawby, A.P. Haighton // Fire Safety Journal. – 1994. – № 23. – P. 185–192.
11. Office of the Federal Register. U.S. Code of Federal Regulations, Title 10 (Energy), Appendix R to Part 50 (Fire Protection Program for Nuclear Power Facilities Operating Prior to January 1, 1979). – 1980.
12. Атомные станции. Требования пожарной безопасности: СП 13.13130.2009. – Введ. 07.09.2009. – М.: МЧС РФ, 2009. – 24 с.
13. Токмачев, Г. Вероятностный анализ безопасности для пожаров на АЭС Куданкулам в Индии / Г. Токмачев / Междунар. конф. по надежности, безопасности и риску 2005: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мумбай, 1–3 дек. 2005 г. – Мумбай, 2005. – С. 375–380.
14. Vinod, G. Insights from fire PSA for enhancing NPP safety / G. Vinod, R.K. Saraf, A.K. Ghosh, H.S. Kushwaha, P.K. Sharma // Nuclear Engineering and Design. – 2008. – № 238. – P. 2359–2368.
15. Противопожарная защита атомных станций. Нормы проектирования: НПБ 114-2002. – Введ. 23.12.2002. – М.: МЧС РФ, 2002. – 20 с.
16. Users Guide for a Personal-Computer-Based Nuclear Power Plant Fire Data Base, NUREG/CR-4586. Sandia National Laboratories, Albuquerque. – 1986.
17. Nowlen, P. Nuclear Power Plants: A Unique Challenge to Fire Safety Steven / P. Nowlen // Fire Safety Journal. – 1992. – № 19. – P. 3–18.

## PROVIDING OF FIRE SAFETY AT NUCLEAR POWER PLANTS

Ilia Zhavarankau

Aliaksandr Ilyushonak, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

*Purpose.* Investigation of the causes of fire at nuclear power plants. Analysis of fire hazard at nuclear power plants and ways of ensuring fire safety of nuclear power plants.

*Methods.* Analysis of the events and normative documents.

*Findings.* As shown by the analysis, the main causes of fires at nuclear power plants are: oil leaks, hydrogen accumulation, electrical malfunctions, work carried out with fire, personnel errors. The main factors determining the fire safety of nuclear power plants are (taking into account the restriction of the spread of fire due to splitting the building into fire compartments): fire load: oil systems, cable products, temporary substances and materials; ignition sources: open fire, rubbing mechanisms, violation of operating conditions; detection, warning and fire fighting, smoke removal and ventilation systems.

*Application field of research.* The findings can be used to analyze the fire safety of a particular nuclear power plant.

*Conclusions.* This analysis can be used to find vulnerabilities in the fire safety of nuclear power plants.

*Keywords:* fire, fire zone, nuclear power plant, fire safety of nuclear power plants, fire hazard analysis.

(The date of submitting: April 13, 2018)

### REFERENCES

1. *Osnovnye rekomendatsii k razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 1 bloka atomnoy stantsiy dlya initsiiruyushchikh sobytiy, obuslovlennykh vnutriploshchadochnymi pozharemi i zatopeniyami: RB-076-12* [The main recommendations for the development of probabilistic safety analysis of level 1 of the nuclear power plant unit for initiating events caused by in-site fires and floods: RB-076-12]. Affirmed 05.09.2012. Moscow: Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, 2012. 81 p. (rus)
2. *Fire safety in the operation of nuclear power plants No. NS-G-2.1*, 2004. 43 p.
3. *Avariya na AES Browns ferry (SShA), svyazannaya s povrezhdeniem kabeley sobstvennykh nuzhd: MChS Rossii* [Accident at the Browns ferry NPP (United States), connected with damage to the cables of own needs: EMERCOM of the Russian Federation], available at: [http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation\\_accidents/m\\_other\\_accidents/1975\\_god/Avariya\\_na\\_AJES\\_Browns\\_ferry\\_SSHA\\_svjaza](http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation_accidents/m_other_accidents/1975_god/Avariya_na_AJES_Browns_ferry_SSHA_svjaza) (accessed: December 25, 2017). (rus)
4. *Avarii na atomnykh elektrostantsiyakh: webkursovik.ru* [Accidents at nuclear power plants: webkursovik.ru]: webkursovik.ru – effektivnaya pomoshch' studentu, available at: <https://www.webkursovik.ru/kartgotrab.asp?id=-184602> (accessed: December 25, 2017). (rus)
5. *Krupneyshie radiatsionnye avarii i katastrofy sovremennosti* [The largest radiation accidents and disasters of our time], available at: [http://www.topnews.ru/photo\\_id\\_6663\\_13.html](http://www.topnews.ru/photo_id_6663_13.html) (accessed: December 25, 2017). (rus)
6. *Na Yuzhno-Ukrainskoy AES zagorelsya transformator* [At the South-Ukrainian NPP the transformer caught fire], available at: <https://kp.ua/incidents/486400-na-yuzhno-ukraynskoi-aes-zahorelsia-transformator> (accessed: December 25, 2017). (rus)
7. *Entergy report: insulation failure sparked transformer fire at Indian Point*, available at: <http://newyork.cbslocal.com/2015/06/30/entergy-insulation-failure-fire-indian-point/> (accessed: December 25, 2017).
8. *Explosion à la centrale nucléaire de Flamanville* [Explosion at the Flamanville NPP], available at: <https://fr.sputniknews.com/france/201702091030009783-explosion-cantrale-nucleaire-france/> (accessed: December 25, 2017). (fr)
9. *Incendie à la centrale nucléaire de Bugey: Libération* [Fire at the Bugey nuclear power plant: Release], available at: [http://www.liberation.fr/direct/element/incendie-a-la-centrale-nucleaire-de-bugey\\_66259/](http://www.liberation.fr/direct/element/incendie-a-la-centrale-nucleaire-de-bugey_66259/) (accessed: December 25, 2017). (fr)
10. Mawby F.D., Haighton A.P. The approach adopted in England and Wales in defining the level of fire safety at nuclear power stations. *Fire Safety Journal*. 1994. No. 23. Pp. 185–192.
11. Office of the Federal Register. *U.S. Code of Federal Regulations*, Title 10 (Energy), Appendix R to Part 50 (Fire Protection Program for Nuclear Power Facilities Operating Prior to January 1, 1979). 1980.

12. *Atomnye stantsii. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti: SP 13.13130.2009* [Atom stations. Fire safety requirements: Set of rules 13.13130.2009]. Affirmed 07.09.2009. Moscow: EMERCOM of the Russian Federation, 2009. 24 p.
13. Tokmachev G. Veroyatnostnyy analiz bezopasnosti dlya pozharov na AES Kudankulam v Indii [Probabilistic safety analysis for fires at Kudankulam NPP in India]. *Proc. Intern. Scientific-practical Conf. «Mezhdunarodnoy konferentsii po nadezhnosti, bezopasnosti i risku 2005»*, Mumbai, December 1–3, 2005. Mumbai: 2005. Pp. 375–380. (rus)
14. Gopika Vinod, Saraf R.K., Ghosh A.K., Kushwaha H.S., Sharma P.K. Insights from fire PSA for enhancing NPP safety. *Nuclear Engineering and Design*. 2008. No. 238. Pp. 2359–2368.
15. *Protivopozharnaya zashchita atomnykh stantsiy. Normy proektirovaniya: NPB 114-2002* [Fire protection of nuclear power plants. Design Standards: NPB114-2002]. Affirmed 23.12.2002. Moscow: EMERCOM of the Russian Federation, 2002. 20 p. (rus)
16. *Users Guide for a Personal-Computer-Based Nuclear Power Plant Fire Data Base: NUREG/CR-4586*. Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1986.
17. Nowlen P. Nuclear Power Plants: A Unique Challenge to Fire Safety Steven. *Fire Safety Journal*. 1992. No. 19. Pp. 3–18.