

С. Н. САВИН, д-р техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4; e-mail: tsb@spbgasu.ru)

И. Л. ДАНИЛОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: il_dan@mail.ru)

УДК 69.04;624.001.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АЭС

Проведен анализ проектных решений по обеспечению защиты АЭС от экстремальных воздействий. Представлены результаты серии экспериментальных исследований конструкций с бесстыковыми стыками арматуры для использования их в защитной оболочке реактора. Установлены нормативные и предельные моменты для испытываемых образцов. Построены диаграммы "нагрузка — прогиб" для различных схем нагружения. Дано описание экспериментальных установок для воспроизведения статических и динамических воздействий на элементы железобетонных конструкций.

Ключевые слова: защитная оболочка; сейсмическое воздействие; удар самолета; система противопожарной защиты; огнестойкость; предел огнестойкости; безопасность АЭС; предотвращение разрушений; бесстыковые стыки арматуры; гидростатический стенд; динамический стенд.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.14-21

Краткий обзор современных проблем проектирования АЭС

В последние годы в мировой и отечественной практике проектирования атомных электростанций (АЭС) существует общая тенденция к ужесточению требований по защищенности строительных конструкций, внутреннего оборудования и персонала при действии особых динамических нагрузок с учетом повышения их прогнозируемой интенсивности. К подобным особым видам нагрузок можно отнести: сейсмическое воздействие, удар самолета, пожар, нагружение конструкций воздушными ударными волнами, несанкционированные вооруженные атакующие действия и т. п. Эти обстоятельства обуславливают необходимость выявления запасов конструктивной прочности, детального описания особенностей формирования зон разрушения, распространения возмущений в реальных конструкциях, в том числе оснащенных средствами удара-, вибро- и пожарозащиты, а также реакции оборудования и персонала [1–7].

В основу обеспечения безопасности в большинстве проектов отечественных атомных электростанций заложен принцип глубоко эшелонированной защиты на пути распространения ионизирующих излучений [8–14].

Система организационных и технических мер по обеспечению защиты АЭС состоит из пяти уровней защиты. При этом для чрезвычайных аварийных ситуаций предусмотрены защитные, управляющие и локализирующие системы безопасности, которые предусматриваются в проекте для предотвращения развития отказов в случае ошибок персонала и экстремальных внешних воздействий.

К таким системам безопасности относятся:

- двойная защитная оболочка реактора;
- устройство локализации расплава активной зоны реактора;
- система пассивной противопожарной защиты (СППЗ);
- система пассивных каталитических рекомбинаторов водорода.

Двойная защитная оболочка реактора состоит из внутренней герметичной оболочки и наружной защитной железобетонной оболочки с куполом и плитой основания.

Система пассивной противопожарной защиты включает в себя систему пассивного отвода тепла (СПОТ). СПОТ состоит из четырех независимых контуров естественной циркуляции среды второго контура, предназначенных для долговременного

отвода остаточных тепловыделений от реактора при потере всех источников электроснабжения, включая аварийные, как при плотном первом контуре, так и при течах теплоносителя первого контура. Отвод тепла от СПОТ к конечному поглотителю осуществляется также пассивным способом, за счет естественной циркуляции воздуха. СПОТ спроектирована таким образом, что она способна функционировать во всех режимах эксплуатации АЭС как независимо, так и в комбинации с другими системами безопасности.

Система пассивных каталитических рекомбинаторов водорода призвана предотвращать накопление водорода, происходящее при пароциркониевой реакции и наряду с системами аварийного паро- и газоудаления является эффективной системой предотвращения взрыва внутри оболочки реактора (рис. 1) [12].

Центральным элементом конструктивной защиты современной АЭС является герметичная оболочка реактора, способная выдерживать не только экстремальные внешние механические воздействия (землетрясения, ураганы, падение самолета и т. п.), но и внутреннее давление до 0,4 МПа.

В работе А. Н. Бирбраера и А. Ю. Роледера [3] обоснованы проектные требования по учету удара легкого самолета массой до 5000 кг, используемого на внутренних авиалиниях. Учет такого удара позволяет одновременно обеспечить защиту от летящих тел другой природы с близкими массами и скоростями (например, поднятых в воздух ураганом

или торнадо; образовавшихся при обрушении строительных конструкций, вследствие злонамеренных действий людей и т. п.).

Анализ необходимости учета в проекте более тяжелого самолета основан на использовании понятий *величина дистанции отбора* (ВДО) и *уровень отбора событий по вероятности* (УОВ).

Процедура анализа воздушной обстановки вокруг АЭС изложена в [15, 16]. Анализ начинается с установления вероятности падения самолета на АЭС в результате общего воздушного движения в регионе. Если она меньше УОВ, то в проекте учитывается падение малого самолета по нормам [16]. В противном случае необходимо установить все потенциально опасные места (“источники”), откуда может упасть самолет, и сравнить расстояние до них с ВДО. Если площадка АЭС расположена за пределами ВДО, то падение самолета из данного источника можно не учитывать, а если в пределах ВДО, то следует вычислить вероятность падения самолета из этого источника. Если полученная вероятность меньше УОВ, то событие не учитывается, в противном случае оно должно быть учтено в проекте. Для этого необходимо установить типы и характеристики всех самолетов, падение которых возможно из данного места.

Для случая падения самолета на оболочку ядерного реактора современной АЭС рассмотрим только механические нагрузки. При этом действуют два вида нагрузок — от разрушения фюзеляжа и от удара относительно твердого двигателя (турбины). Натурный эксперимент с самолетом “Phantom” RF-4E показал, что при ударе 94 % энергии было затрачено на его собственное разрушение и только 6 % — на деформацию преграды.

Обломок самолета, в качестве которого часто принимают турбину двигателя, считается абсолютно твердым телом. Характер повреждения конструкции определяется по эмпирическим формулам. Следует учитывать тот факт, что разрушения строительных конструкций при падении объекта с относительно небольшой массой, но с высокой скоростью будут более значительными, чем от удара тяжелого, но относительно медленно движущегося тела. При заданной скорости и характеристиках снаряда повреждение будет тем меньше, чем выше прочность бетона, больше толщина преграды или выше степень податливости оболочки.

Что касается теплового воздействия на оболочку реактора при возможном горении авиационного топлива, то расчеты, проведенные специалистами Литовского энергетического института [5], показали, что деградации прочности материалов оболочки в случае пожара на крыше Игналинской АЭС не происходит, если отсутствует разрушение бетон-



Рис. 1. Оболочка реактора на АЭС “Фукусима” после взрыва водорода

ных конструкций. Структурная прочность бетона и стали арматурных стержней при нагреве ухудшается незначительно.

Учет степени повреждения железобетонных конструкций при пожарах затруднителен в силу неоднородности материалов, входящих в состав железобетона. Нагрев приводит к разным температурным деформациям цементного связующего, наполнителя и арматуры. Как следствие, происходит изменение механических свойств элементов железобетона, уменьшение модулей сжатия и кручения материалов, что вызывает снижение прочности конструкций и возникновение дополнительных прогибов.

Состояние железобетонных конструкций при воздействии высоких температур в случае интенсивного пожара активно исследуется как в России [17, 18], так и за рубежом [19–21]. При этом для получения информации о прочностных характеристиках структуры бетона и арматуры в железобетонных плитах и колоннах, наряду с прямыми измерениями степени нагрузки материалов [17–19], применяются и методы линейного и нелинейного резонанса [20, 21].

Однако в случае наличия разломов конструкций, разброса обломков различных материалов значительно повышается вероятность возникновения многочисленных очагов пожаров, вызванного разливом авиационного топлива и образованием топливно-воздушной смеси, которые в случае неприятия своевременных мер могут достигать крупных размеров.

При повреждении строительных конструкций из-за появления трещин, сквозных отверстий, раскрытия арматурного слоя механическая прочность и предел их огнестойкости могут значительно меняться [17–22].

Таким образом, сохранение целостности строительных конструкций зданий и сооружений АЭС становится одним из решающих факторов для обеспечения безопасности эксплуатации реактора в условиях чрезвычайной ситуации.

Экспериментальные исследования железобетонных элементов

В настоящее время разрабатываются новые подходы к повышению конструктивной защиты оболочек АЭС, в рамках которых проведены испытания перспективных железобетонных изделий с “бесконтактными” стыками арматуры. Принципиальные возможности применения “бесконтактных” соединений арматурных конструкций (типа петлевых стыков, а также прямых или гнутых перепусков с различными анкерными устройствами) были доказаны в ходе предварительной серии экспериментов. Окончательное внедрение этих конструкций сдерживается из-за отсутствия или неполноты нормативно-методической базы для их расчета и проектирования.

В рамках экспериментальных исследований были проведены полномасштабные испытания железобетонных линейных элементов с бессварными стыками арматуры в различных условиях.

В процессе испытаний был выполнен комплекс измерений и наблюдений, который позволил:

- определить значения редуционных множителей к нормативным критериям прочности и трещиностойкости нормальных и наклонных сечений, содержащих бессварные стыки стержневой арматуры при повторных и режимных нагружениях;
- провести сопоставительный анализ трещиностойкости, несущей способности и живучести (способности к функционированию в поврежденном состоянии) элементов с различными конструкциями арматурных стыков;
- сформулировать рекомендации по применению, расчетному обоснованию и конструированию железобетонных элементов с различными типами стыков стержневой арматуры.

Испытания проводились на гидростатическом стенде ООО “Стройдинамика”. Модели размером 4700×400×400 мм были запроектированы и изготовлены на производственной площадке Управления промышленных предприятий. Заявленный изготовителем класс прочности бетона железобетонных моделей — В25.

Ниже приведены результаты испытаний по двухточечной схеме нагрузки линейных элементов, содержащих два петлевых стыка, арматуру Ø28A400 и усиленных со стороны “растянутой зоны” дополнительным армированием Ø40A400. На рис. 2 приведен вид экспериментальной установки с линейным элементом, опертым по краям, и двумя гидродомкратами, создающими нагрузки вблизи петлевых стыков.

На рис. 3 представлен линейный элемент на первом этапе воздействия на него нагрузкой, равной 70 % от максимальной разрушающей. На фотографии трещины в бетоне выделены мелом, а положение стыка условно обозначено крестом. На рис. 3 хорошо просматриваются трещины в зоне растяжения и внутри бетонного ядра петлевого стыка.

Обобщенные результаты испытаний для варианта многократного знакопеременного механического воздействия на одну из опор приведены на диаграмме “нагрузка – перемещение”, представленной на рис. 4 [23].

Диаграмма знакопеременного нагружения для другой опоры не приводится. Максимальные значения нагрузки на обеих опорах в каждом цикле нагружения практически совпадают. Отличается характер кривой для финального цикла нагружения (до разрушения). Для приведенной диаграммы уро-

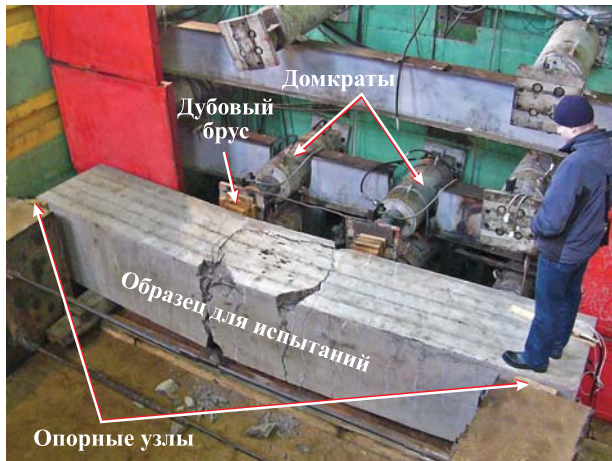


Рис. 2. Оснастка для испытаний и образец в камере нагружения



Рис. 3. Характерные трещины при разрушении бетона вблизи петлевого стыка

вень нагрузки остается высоким вплоть до разрушения образца.

В ходе испытаний впервые удалось исследовать особенности разрушения петлевого стыка по косому сечению. Они заключаются в том, что разрушение достигается только при одностороннем нагружении в условиях приложения нагрузки непосредственно вблизи стыка. Трещина возникает при нагрузках 0,7–0,8 от максимальной.

Характер диаграммы нагружения при разрушении петлевого стыка по косому сечению существенно отличается от аналогичной зависимости при отсутствии такого разрушения. В последнем случае не происходит резкого снижения нагрузки даже при существенных деформациях (см. рис. 4).

При создании знакопеременной нагрузки образец выдерживает не менее двух циклов нагружения. В случае испытания по трехточечной схеме изгиба (приложения сосредоточенной нагрузки в центре плиты) образец был разрушен вне зоны петлевого стыка.

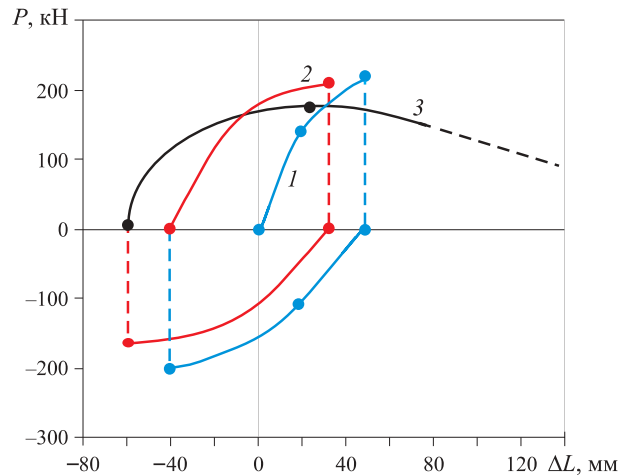


Рис. 4. Зависимость знакопеременного нагружения образца P на одной из опор от перемещения центра пролета ΔL : 1, 2 — первый и второй циклы нагружения; 3 — третий цикл нагружения (разрушение)



Рис. 5. Копровый стенд для динамических испытаний

Для разработки рекомендаций по применению, расчетному обоснованию и конструированию предложенных вариантов стыка начались испытания конструкций на динамическую однонаправленную и знакопеременную нагрузку (рис. 5). Эти испытания призваны дать ответ на вопрос об эффективности использования петлевых стыков арматуры для снижения интенсивности разрушений при ударе и взрыве. В случае получения удовлетворительных результатов можно обоснованно рекомендовать новые решения проектным организациям для внедрения на объектах ЛАЭС.

Заключение

К настоящему времени российскими и иностранными специалистами сформированы в основном

теоретические подходы к исследованию существенно нелинейных задач, связанных с возможными разрушениями, пожаром и взрывом при падении самолета или иного летящего тела на оболочку реактора АЭС. Положено начало экспериментальным исследова-

ниям стойкости железобетонных конструкций к взрыву и удару. Результаты исследований позволяют надеяться на дальнейшее повышение безопасности АЭС и создание новых эффективных проектных решений их конструктивной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements No. SSR-2/1. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2012.
2. Ramana M. V. Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies // Annual Review of Environment and Resources. — 2009. — Vol. 34, Issue 1. — P. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.enviro.033108.092057.
3. Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю. Безопасность атомных электрических станций при экстремальных внешних воздействиях // Биосфера. — 2010. — Т. 2, № 2. — С. 197–213.
4. Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
5. Дундулис Г., Ушпурас У. Анализ безопасности АЭС при падении самолета // Международная конференция “Научно-техническая поддержка при регулировании ядерной и радиационной безопасности”, Киев, Украина, 22 марта 2012 г. URL: sstc.kiev.ua/documents/doc/conference/2012/12.ppt (дата обращения: 09.12.2016).
6. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Хуснутдинов Д. З. Взрывная опасность для АЭС, запроектированных и построенных в России без учета взрывной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 21–25.
7. Савин С. Н., Данилов И. Л. Сейсмобезопасность зданий и территорий. — СПб. : Изд-во “Лань”, 2015. — С. 156–163.
8. НПБ 114–2002. Противопожарная защита атомных станций. Нормы проектирования. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2003.
9. НП-001–15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420329007> (дата обращения: 09.12.2016).
10. СП 2.6.1.28–2000. Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99). — М. : Минздрав России, 1999.
11. НП-026–16. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420383903> (дата обращения: 09.12.2016).
12. НП-040–02. Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034921> (дата обращения: 09.12.2016).
13. ПИН АЭ-5.6. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. — М. : Минатом, 1986.
14. ППБ-АС-2011. Правила пожарной безопасности при эксплуатации атомных станций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094269> (дата обращения: 09.12.2016).
15. External human-induced events in site evaluation for nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series. Safety Guide No. NS-G-3.1. — Vienna : IAEA, 2002.
16. НП-064–05. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200043834> (дата обращения: 09.12.2016).
17. Курлапов Д. В. Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции // Инженерно-строительный журнал. — 2009. — № 4. — С. 41–43.
18. Тамразян А. Г., Аветисян Л. А. Прочность и несущая способность сжатых железобетонных элементов при динамическом нагружении в условиях повышенных температур // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 7. — С. 56–60.
19. Hui Lu, Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: Experiments // Fire Safety Journal. — 2010. — Vol. 45, No. 2. — P. 106–115. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.12.001.
20. Sun-Jong Park, Hong Jae Yim, Hyo-Gyoung Kwak. Nonlinear resonance vibration method to estimate the damage level on heat-exposed concrete // Fire Safety Journal. — 2014. — Vol. 69. — P. 36–42. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.07.003.

21. Payan C., Ulrich T. J., Le Bas P. Y., Saleh T., Guimaraes M. Quantitative linear and nonlinear resonance inspection techniques and analysis for material characterization: Application to concrete thermal damage // Journal of the Acoustical Society of America. — 2014. — Vol. 136, No. 2. — P. 537–546. DOI: 10.1121/1.4887451.
22. Savin S. N., Smirnova E. E. Evaluation of mechanical safety of building structures using elastic vibrations varying in wave length // World Applied Sciences Journal. — 2013. — Vol. 23, No. 11. — P. 1448–1454. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.13161.
23. Беляев В. С., Савин С. Н., Демишин С. В. Экспериментальные исследования экономичных вариантов стыков арматуры на действие статической нагрузки // Будивельные конструкции. — Вып. 74, кн. 1. — Киев : ДП НДИБК, 2011. — С. 357–364.

Материал поступил в редакцию 20 декабря 2016 г.

Для цитирования: Савин С. Н., Данилов И. Л. Экспериментальное обоснование мероприятий по совершенствованию проектных решений строительных конструкций зданий и сооружений АЭС // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.14-21.

English

EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF ACTIONS FOR IMPROVEMENT OF DESIGN SOLUTIONS OF BUILDING CONSTRUCTIONS OF THE NUCLEAR POWER PLANT

SAVIN S. N., Doctor of Technical Sciences, Professor of Technical Sphere Safety Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (2-ya Krasnoarmeyskaya St., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: tsb@spbgasu.ru)

DANILOV I. L., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Professor of Physical and Technical Basement of Fire Safety Ensuring Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: il_dan@mail.ru)

ABSTRACT

In recent time requirements for security of building constructions, an internal inventory and personnel at action of special inertial reaction taking into account increase in their predicted intensity are toughened.

It is possible to carry to similar special types of loadings: seismic influence, blow of the plane, the fire, a loading of designs air shockwaves, the unauthorized armed attacking actions and so forth. These circumstances cause need of identification of stocks of design durability, the detailed description of features of formation of zones of destruction, distribution of indignations for the actual designs including equipped with tools shock-, vibration- and fire-protection.

The central element of design protection of the modern NPP is the pressure-tight cover of the reactor (containment) capable to maintain not only extreme external mechanical influences (earthquakes, hurricanes, plane crash, etc.), but also intrinsic pressure up to 0,4 MPa.

However, at damage of building constructions because of emergence of cracks, through holes, a dehiscence of a reinforcing layer mechanical strength and a limit of their fire proofness can change considerably.

Thus, preservation of a wholeness of building constructions of the NPP becomes one of decisive factors for safety of operation of the reactor in the conditions of emergency situation.

Now new approaches to increase in design protection of envelopes of the NPP are developed. In particular, tests of perspective concrete goods with “non-contact” joints of fittings are carried out (like loopback joints, and also direct or bent restart-up with various anchor devices).

Within the pilot studies full-scale tests of reinforced concrete linear elements with unwelding joints of metal mountings in various conditions were carried out.

Tests were carried out at the hydrostatic stand of LLC “Stroydinamika”. Sizes of models 4700×400×400 mm. The class of durability of concrete of reinforced concrete models declared by the manufacturer is B25. The generalized test data for option of multiple sign-variable mechanical influence are provided on the chart “loading movement”.

During tests for the first time it was succeeded to investigate features of destruction of a loopback joint on slanting section. Destruction of a loopback joint on slanting section is reached only at a unilateral loading in the conditions of the application of loading immediately near a joint. The crack arises at loadings 0,7–0,8 from maximal.

For development of recommendations about application, calculated justification and designing of the offered options of a joint tests of designs on the inertial unidirectional and reversal load began. These tests are intended to give the answer to a question of effectiveness of use of loopback joints of metal mountings for decrease in intensity of destructions at shock and explosion.

Keywords: protective shell; seismic impact; aircraft shock; fire protection system; fire resistance limit; Nuclear safety; damage prevention; contactless joints reinforcement; hydrostatic stand; dynamic stand.

REFERENCES

1. *Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements No. SSR-2/1*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2012.
2. Ramana M. V. Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies. *Annual Review of Environment and Resources*, 2009, vol. 34, issue 1, pp. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.enviro.033108.092057.
3. Birbraer A. N., Roleder A. Yu. Safety of the nuclear power plants at extreme external influences. *Biosfera (Biosphere)*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 197–213 (in Russian).
4. Birbraer A. N., Roleder A. Yu. *Extreme influences on buildings*. Saint Petersburg, Publishing House of Polytechnic Institute, 2009 (in Russian).
5. Dundulis G., Ushpurus U. Analysis of safety NPP at falling of airplane. In: *International Conference “Scientific and Technical Support at Adjusting of Nuclear and Radiation Safety”*, Kiev, Ukraine, 22 March 2012. Available at: sstc.kiev.ua/documents/doc/conference/2012/12.ppt (Accessed 9 December 2016).
6. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Khusnutdinov D. Z. Explosion hazard of nuclear power plants that have been planned and built in Russia without meeting the explosion safety requirements. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 21–25 (in Russian).
7. Savin S. N., Danilov I. L. *Seismic safety of buildings and areas*. Saint Petersburg, Publishing House “Lan”, 2015, pp. 156–163 (in Russian).
8. *Fire Safety Standards 114–2002. Fire protection of nuclear power plant*. Standards of desing. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003 (in Russian).
9. NP-001–15. *General safety of nuclear power plants* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420329007> (Accessed 9 December 2016).
10. *Set of rules 2.6.1.28–2000. Radiation safety rules for operation of nuclear power plants (PRB AS-99)*. Moscow, Ministry of Health of Russia Publ., 1999 (in Russian).
11. NP-026–16. *Requirements to control systems important to safety of nuclear power plants* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420383903> (Accessed 9 December 2016).
12. NP-040–02. *Rules to ensure the hydrogen explosion at the nuclear power station* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200034921> (Accessed 9 December 2016).
13. *PiN AE-5.6. Construction design norms of nuclear power station with reactors of various type*. Moscow, Ministry of Nuclear Industry Publ., 1986 (in Russian).
14. *PPB-AS–2011. Fire safety regulations in the operation of nuclear plants* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200094269> (Accessed 9 December 2016).
15. *External human-induced events in site evaluation for nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series. Safety Guide No. NS-G-3.1*. Vienna, IAEA, 2002.
16. NP-064–05. *Accounting for external effects of natural and technogenic origin on nuclear facilities* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200043834> (Accessed 9 December 2016).
17. Kurlapov D. V. Influence of high temperatures of fire on building structures. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal (Magazine of Civil Engineering)*, 2009, no. 4, pp. 41–43 (in Russian).

18. Tamrazyan A. G., Avetisyan L. A. Strength and bearing capacity of compressed reinforced concrete elements under dynamic loading at high temperatures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo (Industrial and Civil Engineering)*, 2016, no. 7, pp. 56–60 (in Russian).
19. Hui Lu, Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: Experiments. *Fire Safety Journal*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 106–115. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.12.001.
20. Sun-Jong Park, Hong Jae Yim, Hyo-Gyoung Kwak. Nonlinear resonance vibration method to estimate the damage level on heat-exposed concrete. *Fire Safety Journal*, 2014, vol. 69, pp. 36–42. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.07.003.
21. Payan C., Ulrich T. J., Le Bas P. Y., Saleh T., Guimaraes M. Quantitative linear and nonlinear resonance inspection techniques and analysis for material characterization: Application to concrete thermal damage. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2014, vol. 136, no. 2, pp. 537–546. DOI: 10.1121/1.4887451.
22. Savin S. N., Smirnova E. E. Evaluation of mechanical safety of building structures using elastic vibrations varying in wave length. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 23, no. 11, pp. 1448–1454. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.13161.
23. Belyaev V. S., Savin S. N., Demishin S. V. Experimental studies of economical options for reinforcement of joints on the effects of static load. *Budivelnnyye konstruksii (Building Constructions)*, issue 74, book 1. Kiev, 2011, pp. 357–364 (in Russian).

For citation: Savin S. N., Danilov I. L. Experimental justification of actions for improvement of design solutions of building constructions of the nuclear power plant. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.14-21.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru