

А. Н. Ведь, А. И. Мехед, Л. С. Ивашова,
С. В. Карбовский, Л. Г. Лукашина,
И. В. Избенко

Государственный научно-технический центр по ядерной
и радиационной безопасности

Гармонизация национальных нормативных документов с рекомендациями МАГАТЭ относительно системы надежного электрообеспечения атомных станций

Приведены результаты сравнительного анализа степени гармонизации регулирующих требований, установленных действующими в Украине нормативными документами по ядерной и радиационной безопасности к системам надежного электрообеспечения, важным для безопасности АЭС, с рекомендациями МАГАТЭ. Сформулированы рекомендации по усовершенствованию национальных нормативных документов относительно устройства, проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации системы надежного электрообеспечения АЭС.

А. М. Ведь, А. І. Мехед, Л. С. Івашова, С. В. Карбовський,
Л. Г. Лукашина, І. В. Избенко

Гармонізація національних нормативних документів з рекомендаціями МАГАТЭ щодо системи надійного електропостачання атомних станцій

Наведено результати порівняльного аналізу ступеня гармонізації регулюючих вимог, встановлених чинними в Україні нормативними документами з ядерної та радіаційної безпеки до систем надійного електропостачання, важливих для безпеки АЕС, з рекомендаціями МАГАТЭ. Сформульовано рекомендації з удосконалення національних нормативних документів щодо облаштування, проектування, виготовлення, монтажу та експлуатації системи надійного електропостачання АЕС.

© А. Н. Ведь, А. И. Мехед, Л. С. Ивашова,
С. В. Карбовский, Л. Г. Лукашина, И. В. Избенко, 2010

Атомные электрические станции не только производят, но и потребляют электрическую энергию для своих производственных или, как принято говорить, собственных нужд. Большая часть механизмов АЭС приводится в движение электродвигателями. Контроль технологических параметров и управление энергоблоком АЭС осуществляются автоматизированными системами управления технологическими процессами, надежность работы которых зависит от надежности и качества энергоснабжения. Без энергоснабжения невозможно выполнение многими системами АЭС определенных функций безопасности как в режиме нормальной эксплуатации, так и в аварийных и послеаварийных режимах. Отсутствие электрообеспечения или ухудшение его качества может привести к тяжелому повреждению активной зоны реактора и радиоактивному загрязнению окружающей среды выше допустимых пределов.

Особое место в обеспечении безопасности АЭС отводится системе аварийного электрообеспечения систем безопасности (САЭ). Назначение САЭ состоит в снабжении механизмов и оборудования систем безопасности АЭС электроэнергией гарантируемого качества при всех возможных постулируемых исходных событиях, предусмотренных проектом, включая режим полного обесточивания.

Полнота установленных регулирующих требований к САЭ и степень их гармонизации с документами международных организаций — важные вопросы с точки зрения безопасной эксплуатации АЭС. В статье приводятся обобщенные результаты анализа степени гармонизации национальных регулирующих требований к системе надежного электрообеспечения АЭС с рекомендациями МАГАТЭ.

Приведем краткие сведения об основных нормах, правилах и стандартах по ядерной и радиационной безопасности, относящихся к системе надежного электрообеспечения АЭС, действующих в Украине. Отметим, что многие из них были выпущены в конце 1980-х — начале 1990-х годов в бывшем СССР и не учитывают опыта эксплуатации и разработки проектов систем надежного электрообеспечения АЭС, приобретенного странами, эксплуатирующими АЭС, и рекомендаций МАГАТЭ [1].

1. *НП 306.2.141-2008. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій* [1]. Устанавливают требования к основным принципам и критериям обеспечения безопасности атомных станций, а также основные технические и организационные мероприятия, направленные на их реализацию, защиту персонала атомных станций, населения и окружающей среды.

2. *НП 306.2.145-2008. Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з водою під тиском* [2]. Устанавливают общие требования к конструкции, характеристикам, условиям эксплуатации реакторных установок, которые должны быть учтены при проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию, эксплуатации и снятии с эксплуатации энергоблоков атомных станций.

3. *ПНАЭ Г-9-026-90. Общие положения по устройству и эксплуатации аварийного электрообеспечения атомных станций* [5]. Содержат основные требования к системе аварийного электрообеспечения на этапах проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации, а также конструирования и изготовления соответствующего электротехнического оборудования.

4. *ПНАЭ Г-9-027-91. Правила проектирования систем аварийного электрообеспечения атомных станций* [6]. Содержат

основные требования к проекту и оборудованию системы аварийного электроснабжения.

5. *ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила* [8]. Устанавливает (регламентирует) основные организационные и технические требования к безопасной, надежной и экономичной эксплуатации оборудования, зданий, сооружений и коммуникаций объектов энергетики независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности. Разработан взамен РД 34.20.501 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» с учетом опыта эксплуатации систем и оборудования электрических станций и сетей за последние годы.

6. *Правила устройства электроустановок (ПУЭ)* [9]. Данный нормативный документ выпущен Государственным комитетом ядерного регулирования Украины в 2009 г. взамен вышедшего в 1985 г. 6-го издания «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ). Содержит основные требования к электроустановкам до 500 кВ включительно с учетом опыта эксплуатации систем и оборудования электрических станций и сетей за последние годы.

7. *ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций* [4]. Содержит требования по обеспечению сейсмостойкости оборудования и систем АЭС, важных для безопасности.

8. *ПНАЭ Г-5-020-90. Правила устройства и эксплуатации систем аварийного охлаждения и отвода тепла от ядерного реактора к конечному поглотителю*. Устанавливает требования к проектированию, конструированию, изготовлению, монтажу, испытаниям, эксплуатации и ремонту систем и элементов, выполняющих функции аварийного охлаждения реактора и отвода тепла к конечному поглотителю, а также требования, определяемые исходя из назначения этих систем, к управляющей и обеспечивающим системам.

9. *НП 306.5.02/3.035-2000. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій* [3]. Устанавливает требования к оборудованию вторичных цепей управления, защите, сигнализации, контрольно-измерительным приборам САЭ.

Сравнительный анализ соответствия действующих в Украине норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности относительно систем надежного энергоснабжения систем безопасности АЭС в части соблюдения основных принципов и критериев безопасности выполнен на соответствие документу МАГАТЭ [11] — *Руководству по проектированию САЭ атомных станций (№ NS-G-1.8)*, в котором аккумулированы и детализированы требования к системе аварийного энергоснабжения, а также рассмотрены вопросы обеспечения безопасности АЭС, обусловленные влиянием режимов работы энергосистемы. (Детальный анализ приведен в отчете по научно-исследовательской работе [12].)

Требования к соблюдению принципов единичного отказа и независимости. Документ [6] в достаточной степени гармонизирован с рекомендациями МАГАТЭ [11, п. 2.9], но требует определенных уточнений и дополнений в части полноты и конкретизации требований.

Документом [6, п. 2.1.10] относительно соблюдения принципов единичного отказа и независимости установлены следующие требования:

1. В проекте должен использоваться принцип независимости работы каналов САЭ (физическое и функциональное разделение) для защиты ее от возможных отказов по об-

щей причине, в том числе при пожаре и других событиях, происходящих либо непосредственно в связи с выходом из строя оборудования системы безопасности, либо в результате деятельности персонала (например, при эксплуатации или техобслуживании).

2. Распределительное устройство собственных нужд, САЭ, аккумуляторные батареи, щиты постоянного тока, АБП и другие элементы каждого канала системы безопасности должны быть размещены в отдельном помещении. Помещения САЭ разных каналов систем безопасности должны быть отделены друг от друга и от системы нормальной эксплуатации. Ограждающие и несущие строительные конструкции помещений каналов САЭ должны быть выполнены из негорюемых материалов и иметь предел огнестойкости не менее 1,5 ч.

3. Электрооборудование, предназначенное для обеспечения выполнения САЭ функций безопасности, и входящие в ее состав технологические системы (вентиляция, охлаждение, подача смазки и т. д.) должны запитываться электроэнергией от источников того же канала системы безопасности, который они обслуживают.

Прямых требований по соблюдению принципа единичного отказа документ [6] не содержит и требует внесения соответствующих дополнений.

В части обеспечения независимости каналов САЭ документ [6] достаточно полно гармонизирован с рекомендациями МАГАТЭ [11, п. 3.2].

Требования к соблюдению принципа резервирования. Документом [6] установлены следующие требования:

1) число секций надежного питания для потребителей сети напряжением 6 кВ второй группы должно соответствовать или быть кратным количеству каналов системы безопасности энергоблока с наибольшим числом каналов, принятым в технологической части;

2) число установок постоянного тока и комплектов АВП, питаемых от этих установок, для потребителей постоянного и переменного тока первой группы, обеспечивающих безопасность, должно быть не менее принятого в проекте энергоблока числа каналов системы безопасности, предусмотренных в технологической части;

3) минимальное число инверторов АБП в пределах одного канала должно соответствовать числу независимых комплектов технических средств (например, СУЗ, АЗ), предусмотренных в данном канале безопасности.

Документ [6] в части соблюдения принципа резервирования достаточно полно гармонизирован с рекомендациями МАГАТЭ [11, п. 3.1].

Требования к соблюдению принципа неодинаковости. Документ [6] не содержит требований к соблюдению принципа неодинаковости, соответствующих рекомендациям МАГАТЭ [11, п.3.7], и требует внесения необходимых дополнений.

Требования по выбору оборудования и обеспечению мощности каналов САЭ достаточно полно гармонизированы с рекомендациями МАГАТЭ [11, п. 3.14].

Документом [6] установлено, что суммарная мощность САЭ и отдельных каналов, которые предназначены для обеспечения безопасности, в том числе для системы аварийного охлаждения и отвода тепла от остановленного реактора, должна быть достаточна для того, чтобы справиться с любой проектной аварией на данном энергоблоке. Определены требования по допустимому времени запуска аварийного источника энергоснабжения САЭ — дизель-генератора, последовательности набора нагрузки, качеству

параметров сети (напряжение, частота), продолжительности функционирования, техобслуживанию и опробованию.

Требования по выбору емкости аккумуляторных батарей каналов САЭ не соответствуют рекомендациями МАГАТЭ. Так, в [11, п. 4.21] сказано: «Следует предусматривать, чтобы каждый комплект резервных батарей в течение определенного периода времени (обычно в течение двух — четырех часов) обеспечивал потребителей электроэнергией при всех возможных режимах при нормальной эксплуатации и проектных авариях, с учетом электрических переходных режимов и таких факторов, как сейсмическое воздействие, тепловое воздействие и ухудшение характеристик в процессе старения». В национальном же нормативном документе [8] установлено, что емкость аккумуляторной батареи выбирается исходя из условия обеспечения толчкового тока и напряжения в конце часового аварийного разряда. Требования по продолжительности функционирования аккумуляторных батарей в каналах САЭ не сформулированы, что является существенным недостатком с учетом важности данного аварийного источника электрической энергии в обеспечении безопасного останова реакторной установки при полном обесточивании АЭС.

Выбор аккумуляторных батарей в каналах САЭ по продолжительности функционирования зависит от многих факторов: требуемого времени функционирования систем безопасности, возможной продолжительности восстановления энергоснабжения от аварийных источников электропитания или внешних сетей и пр. Данные аспекты должны быть проанализированы в проекте и обоснованы.

Национальные нормативные документы по САЭ необходимо дополнить требованиями по выбору аккумуляторных батарей каналов САЭ.

Требования документов по техническому диагностированию состояния оборудования и САЭ в целом не в полной мере соответствуют рекомендациями МАГАТЭ [11, п. 2.5]. В документе [6, п. 2.1.14] сказано только, что «в проекте должна быть предусмотрена возможность диагностики состояния оборудования САЭ и получения информации об отклонениях от его нормальных параметров в процессе эксплуатации». В национальных документах необходима детализация требований по техническому диагностированию состояния оборудования и САЭ в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [11, п. 2.5].

Требования к надежности также необходимо детализировать в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [11]. В национальном документе [6, п. 2.3] эти требования сформулированы так: «Проект должен содержать: количественный анализ надежности, в том числе для аварийных ситуаций, рассматриваемых в проекте, количественный анализ вероятности повреждений оборудования».

Вопросы безопасности, связанные с внешним энергоснабжением (связь с энергосистемой). В приложении к последнему изданию Руководства по безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.8 [11] на основании опыта эксплуатации приведены общие рекомендации по вопросам, связанным с влиянием энергосистемы на стабильность и безопасность работы АЭС, а также с необходимостью принятия дополнительных мер на площадке АЭС для предотвращения (уменьшения) негативного ее влияния. Учитывая важность упомянутых вопросов и отсутствие урегулирования их национальными нормативными документами, остановимся на них более подробно.

Энергосистема представляет собой систему типа «электростанция — электросеть — потребители», элементы

которой объединены общностью режима в непрерывном процессе производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Поэтому ей присущи, по крайней мере, две особенности:

1. Если режим работы в энергосистеме стабилен, в любой момент времени имеет место баланс генерируемой и потребляемой мощностей. При этом частота электрической энергии постоянна и одинакова во всех электрически и магнитосвязанных точках энергосистемы.

2. Нарушение нормального режима одного из элементов может отразиться на работе других или даже всех элементов энергосистемы. При этом электрические процессы протекают, как правило, настолько быстро, что оперативный персонал не успевает вмешаться в эти процессы и предотвратить их развитие.

Нарушение стабильности режима работы энергосистемы, например при уменьшении генерируемой мощности, приводит к нарушению указанного выше баланса мощностей. Возникший при этом дефицит генерируемой мощности в начальный момент покрывается за счет энергии вращающихся масс систем «турбина — генератор», а затем — за счет снижения частоты в энергосистеме. Переходный процесс, сопровождаемый уменьшением частоты энергосистемы, длится до тех пор, пока регуляторы скорости (частоты вращения) турбин, регулирующий эффект нагрузки (потребителей) и (или) автоматика частотной разгрузки (АЧР) энергосистемы полностью не устранят возникший разбаланс мощностей.

Первоначально в проекте АЭС при аварийных ситуациях, не сопровождающихся полным обесточиванием АЭС, запуск дизель-генераторов не предусматривался. В результате при провалах напряжения и изменении частоты (показатели качества электроэнергии) на секциях 6 кВ собственных нужд все лопастные механизмы с электродвигателями 6 кВ, включая системы безопасности (СБ), попадают в условия, не предусмотренные их характеристиками и не совместимые с принципами обеспечения надежной и безопасной работы АЭС. В таких ситуациях, при появлении аварийного технологического сигнала на запуск СБ, лопастные механизмы последних заводом не развернутся и не выполнят своих функций безопасности. При этом все лопастные механизмы или многие из оказавшихся в непроектных по напряжению условиям могут выйти из строя с возможным возгоранием обмоток электродвигателей и (или) других частей их электрооборудования (отказ СБ по общей причине).

Нормативные документы по ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) в режиме самозапуска несут только косвенный характер и, в основном, сводятся к тому, чтобы при нем были исключены выход из строя более одного канала СБ по общей причине и перерастание исходного события в проектные аварии. Прямые требования содержатся только к следующим исходным событиям в системах электроснабжения собственных нужд: полному обесточиванию АЭС и потере энергоснабжения ГЦН. Вопросы обеспечения безопасности при отклонениях напряжения и частоты, а также других основных параметров электрической энергии (частоты и формы кривой электрического тока) в них не рассматриваются.

Анализ нормативных документов по ЯРБ показал, что в них не устанавливаются какие-либо конкретные нормы по отклонению напряжения ни для систем электроснабжения общего назначения (систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности), ни для систем аварийного

электроснабжения специального назначения (систем безопасности). Поэтому нормы для систем электроснабжения специального назначения, каковыми на АЭС являются системы аварийного электроснабжения или, как их еще называют, системы надежного электропитания, сегодня можно установить лишь косвенно — по нормам, установленным к основным элементам и потребителям САЭ.

Исходя из вышеизложенного, с учетом рекомендаций Руководства по безопасности МАГАТЭ [11], в национальных нормативных документах по системам надежного электроснабжения систем, важных для безопасности, в вопросах, связанных с влиянием энергосистемы на стабильность и безопасность работы АЭС, необходимо (как минимум) отразить следующие основные аспекты:

1. Анализ переходных процессов в энергосистеме и оценка степени их негативного влияния на стабильность и безопасность работы АЭС.

2. Обеспечение условий полной выдачи мощности АЭС при всех возможных режимах работы энергосистемы.

3. Анализ и оценка вероятности потери внешнего электроснабжения.

4. Необходимость принятия дополнительных мер на площадке с целью предотвращения (уменьшения) негативного влияния переходных процессов в энергосистеме на стабильность и безопасность работы АЭС.

Выводы и предложения

По результатам выполненного анализа на соответствие установленных требований в национальных нормативных документах по САЭ рекомендациям МАГАТЭ [11] можно отметить следующее:

1. Действующие в Украине нормативные документы по САЭ [5], [6], [8], [9] в части установленных требований к проекту, объему выполняемых функций безопасности, соответствия принципам и критериям безопасности, структуре и построению, в основном отвечают рекомендациям МАГАТЭ, которые приведены в Руководстве № NS-G-1.8 [11].

2. Отдельные несоответствия, которые отмечены в данной статье и [12] относительно необходимости уточнения требований, изложенных в национальных нормативных документах по САЭ и их гармонизации с рекомендациями МАГАТЭ [11], необходимо устранить, а именно:

требования к САЭ, установленные в документах [5] и [6], объединить в один документ — «Требования по ядерной и радиационной безопасности к системам надежного электроснабжения, важным для безопасности атомных станций»;

в новом документе объемы регулирующих требований к САЭ согласовать с п. 2.5 Руководства № NS-G-1.8 [11] и более детально установить требования, касающиеся принципов и критериев, которые должны быть положены в основу проекта системы.

Особое внимание следует уделить требованиям относительно независимости каналов, выбора мощности оборудования, времени функционирования, отказов по общей причине, обеспечения качества, аттестации оборудования, учета наработки и прогнозирования старения оборудования, пожарной безопасности.

3. В соответствии с Руководством по безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.8 [11], необходимо установить требования относительно определения в проекте основных критериев

влияния энергосистемы на безопасность работы АЭС и объемам сведений и анализов, которые должны быть приведены в проекте (возможность выдачи полной мощности АЭС, вероятность потери связи с энергосистемой, вероятность полного обесточивания АЭС, возможность обеспечения электроснабжения АЭС от постороннего источника питания при системных авариях, согласованность действий автоматической частотной разгрузки и др.).

Список литературы

1. *НП 306.2.141-2008*. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій: затверджено наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162; зареєстр. Мін'юстом України 25.12.2008.

2. *НП 306.2.145-2008*. Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском: затверджено наказом Держатомрегулювання України від 15.04.2008 № 73; зареєстр. Мін'юстом України 09.06.2008.

3. *НП 306.5.02/3.035-2000*. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій: затверджено наказом Держатомрегулювання України від 28.03.2000 № 19.

4. *ПНАЭ Г-5-006-87*. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций: утв. постановлением Госпроматомнадзора СССР от 30.12.1987 № 2.

5. *ПНАЭ Г-9-026-90*. Общие положения по устройству и эксплуатации аварийного электроснабжения атомных станций: утв. постановлением Госпроматомнадзора СССР от 26.04.1991 № 2.

6. *ПНАЭ Г-9-027-91*. Правила проектирования систем аварийного электроснабжения атомных станций: утв. постановлением Госпроматомнадзора СССР от 28.10.91 № 11.

7. *ГОСТ 13109-97*. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

8. *ГКД 34.20.507-2003*. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. — К.: Мінпаливенерго України, 2003.

9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / Госатомрегулирование Украины. — К.: Форт, 2009.

10. Международное агентство по атомной энергии. Основопологающие принципы безопасности (Основы безопасности): Серия норм по безопасности № SF-1. — Вена: МАГАТЭ, 2007.

11. Международное агентство по атомной энергии. Проектирование систем аварийного энергоснабжения атомных станций (Руководство): Серия норм по безопасности № NS-G-1.8. — Вена: МАГАТЭ, 2008.

12. Дослідження та розробки у галузі енергетики. Аналіз стандартів МАГАТЭ, NEA, WENRA та інших міжнародних організацій щодо системи надійного енергопостачання, проведення порівняльного аналізу між окремими вимогами міжнародних стандартів та чинними в Україні нормативно-правовими актами: Звіт про науково-дослідну роботу / ДНТЦ ЯРБ, Держатомрегулювання України, Національна академія наук України. — 2009.

13. *Тарасенко В. М., Васильченко В. Н., Мехед А. И, Ведь А. Н., Романенко А. В.* Устойчивость энергосистемы по частоте и ее влияние на надежность и безопасность работы АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. — 2001. — № 3.

14. *Тарасенко В. М., Васильченко В. Н., Мехед А. И, Ведь А. Н., Романенко А. В.* О самозапуске электродвигателей собственных нужд АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. — 2001. — № 4.

Надійшла до редакції 23.12.2009.