

А. Н. Ведь, К. М. Ефимова, В. О. Иокст,
О. А. Ведь, Л. С. Ивашова

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

Требования к системам надежного электрообеспечения, важным для безопасности атомных электростанций

Приведены основные регулирующие требования к системам надежного электрообеспечения, **важным** для безопасности атомных станций.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, нормативные документы, система аварийного электрообеспечения, безопасность эксплуатации.

**А. М. Ведь, К. М. Єфімова, В. О. Іокст, О. А. Ведь,
Л. С. Івашова**

Вимоги до систем надійного електропостачання, важливих для безпеки атомних електростанцій

Наведено основні регулюючі вимоги до систем надійного електропостачання, важливих для безпеки атомних станцій.

Ключові слова: атомна електрична станція, нормативні документи, система аварійного електропостачання, безпека експлуатації.

Нормативное регулирование — один из фундаментальных принципов обеспечения безопасности атомных станций [1]. В его основе лежат разработка норм, отвечающих современным требованиям по обеспечению наивысшего уровня безопасности, который может быть реально достигнут, создание регулирующего механизма для защиты людей и охраны окружающей среды от радиационных рисков, а также контроль их соблюдения.

В соответствии с [1], [4], [5] назначение систем надежного электрообеспечения (СНЭ) состоит в обеспечении систем и элементов АС электроэнергией во всех режимах эксплуатации, предусмотренных проектом, так, чтобы АС могла оставаться в безопасном состоянии после всех постулированных исходных событий тяжелых аварий, включая полное обесточивание. Безопасность атомных станций напрямую зависит от полноты установленных регулирующих требований к их системам надежного электрообеспечения.

Суть проблемы состоит в том, что в отношении систем надежного электрообеспечения АС в Украине действуют нормы, правила и стандарты по ядерной и радиационной безопасности [2]–[5], [11], которые выпущены в конце 1980 — начале 1990-х годов и с тех пор ни разу не пересматривались. В них не учтены современный опыт и последние рекомендации МАГАТЭ [6]. Актуальность проблемы определяется также программой развития атомной энергетики в Украине, которая предусматривает строительство и ввод в эксплуатацию новых энергоблоков.

В рамках национальной программы по совершенствованию нормативно-правовой базы в сфере ядерной и радиационной безопасности выполнена работа [10], в которой проведен анализ степени соответствия действующих в Украине норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности относительно систем надежного энергообеспечения систем безопасности АС документу МАГАТЭ [6]. В результате этой работы разработаны требования к СНЭ, в которых учтены новые достижения науки и техники, отечественный и зарубежный опыт, а также рекомендации МАГАТЭ по проектированию, монтажу, эксплуатации систем надежного электрообеспечения АС, конструированию, изготовлению оборудования и элементов для них. Данные требования позволят устранить имеющийся в настоящее время дефицит безопасности нормативного регулирования и обеспечат соответствие СНЭ на вновь вводимых в эксплуатацию энергоблоках Украины мировым стандартам.

Организация надежного электрообеспечения систем, важных для безопасности АС, должна предусматривать:

- систему электрообеспечения от внешних источников (главная схема электрических соединений);
- систему собственных нужд;
- систему аварийного электрообеспечения систем безопасности.

Все потребители систем, важных для безопасности, должны быть распределены на три группы:

первая группа — потребители переменного и постоянного тока, которые не допускают (по условиям обеспечения безопасности АС) перерыва электрообеспечения более чем на время срабатывания автоматических переключающих устройств при нормальной эксплуатации АС, а также при нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии с обесточиванием энергоблока;

вторая группа — потребители переменного тока, которые допускают перерыв электрообеспечения при переходе на аварийный автономный источник питания на время запуска этого источника, которое не превышает обоснованного значения исходя из необходимости обеспечения безопасности энергоблока АС;

третья группа — потребители переменного тока, которые допускают перерыв питания на время автоматического ввода резерва и не нуждаются в обязательном наличии питания после срабатывания аварийной защиты реактора.

Главная схема электрических соединений АС должна обеспечивать передачу произведенной генераторами энергоблоков АС электрической энергии в объединенную энергосистему, а также возможность подачи напряжения от внешних источников электроэнергии на систему собственных нужд энергоблоков (СН) при ее потере.

Вводятся ряд новых требований к главной схеме электрических соединений АС, основными из которых являются:

обеспечение выдачи полной мощности энергоблоков АС;

согласованность работы системной автоматики;

обеспечение условий параллельной работы;

выделение АС на сбалансированную нагрузку при системных авариях;

возможность подачи напряжения на систему собственных нужд от выделенного стороннего источника электроснабжения для разворота энергоблоков АС с «нуля»;

проведение анализа и определение негативных факторов влияния энергосистемы на надежность и безопасную эксплуатацию АС;

необходимость принятия дополнительных организационных и технических мер по безопасности на площадке АС.

Данными регулирующими требованиями устраняются дефициты нормативного регулирования в обеспечении:

стабильности работы энергоблоков;

возможности подачи напряжения на систему собственных нужд АС, в том числе и на системы безопасности от стороннего выделенного источника при потере внешнего электроснабжения;

повышения надежности электроснабжения оборудования систем, важных для безопасности АС, за счет принятия дополнительных организационных и технических мер по безопасности на площадке АС, например за счет установки дополнительных аварийных источников электроэнергии (общешлюсовых резервных дизель-электростанций), обеспечения достаточной емкости аккумуляторных батарей для производства оперативных переключений и др.

СН предназначена для обеспечения электроэнергией переменного тока потребителей собственных нужд при всех режимах эксплуатации, предусмотренных проектом, включая переходные процессы при авариях в энергосистеме (потребителей нормальной эксплуатации, важных для безопасности, в том числе потребителей систем безопасности при нормальной эксплуатации).

На основании выполненного анализа [10] разработаны новые регулирующие требования к СН АС, которые устраняют более десятка дефицитов безопасности в части нормативного регулирования по системам надежного электроснабжения потребителей нормальной эксплуатации, важных для безопасности.

В соответствии с разработанными требованиями, для обеспечения работы потребителей переменного и постоянного тока первой группы при аварийных режимах в составе СН должны быть предусмотрены специальные автономные установки электропитания, в состав которых должны входить аккумуляторные батареи, инверторные агрегаты, распределительные устройства.

Имеющиеся дефициты нормативного регулирования по системам надежного электроснабжения привели к разработке новых требований по обеспечению:

режима самозапуска электродвигателей механизмов, важных для безопасности;

потребителей систем, важных для безопасности, электроэнергией нормируемого качества (электроэнергией с параметрами, которые соответствуют стандартам).

Переходный процесс при самозапуске затрагивает все категории потребителей собственных нужд, включая системы безопасности энергоблока (СБ), и может сопровождаться нарушением эксплуатационных пределов и условий безопасной эксплуатации. При этом обобщающим параметром, характеризующим процесс протекания самозапуска, является уровень напряжения на секциях СН.

При успешном развороте (самозапуске) всех электродвигателей до номинальных частот вращения напряжение восстанавливается до первоначального или близкого к нему уровня. При неуспешном развороте электродвигателей напряжение в системах электроснабжения не восстанавливается и может «зависнуть» на определенном уровне: по результатам исследований и расчетов — на уровне 50–80 % $U_{ном}$; это ведет к тому, что при провалах напряжения на секциях системы собственных нужд АС все лопастные механизмы с электродвигателями 6 кВ, включая СБ, попадают в условия, не предусмотренные проектом и не совместимые с принципами обеспечения надежной и безопасной работы АС. В таких ситуациях при появлении аварийного технологического сигнала на запуск систем безопасности лопастные механизмы последних заведомо не развернутся и не выполнят своих функций безопасности. При этом все лопастные механизмы или многие из тех, которые оказались в непроектных условиях по напряжению, могут выйти из строя с возможным возгоранием обмоток электродвигателей и (или) коммутационных аппаратов, а также силового электрооборудования электродвигателей (отказ систем безопасности по общей причине).

Результаты исследований [8], [9] легли в основу формирования требований по обеспечению режима самозапуска электродвигателей механизмов и обеспечению потребителей систем, важных для безопасности, электроэнергией нормируемого качества.

Таким образом, разработанные рекомендации по установлению регулирующих требований обеспечивают принятие дополнительных мер по обеспечению режима самозапуска электродвигателей механизмов систем, важных для безопасности АС, для исключения их отказа по общей причине.

Теперь остановимся на рекомендациях по установлению регулирующих требований к СНЭ, которые касаются обеспечения потребителей систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности, и систем безопасности электроэнергией нормируемого качества.

Показателем качества электроэнергии называется величина, характеризующая качество электроэнергии по одному или нескольким ее параметрам, которые установлены в ГОСТ 13109—97 [7]. Для СНЭ основными показателями качества электроэнергии являются отклонения напряжения и частоты от установленных пределов. При отклонении показателей качества электроэнергии за предельно допустимые технические средства систем и системы в целом выходят со строя.

Показатели качества электроэнергии неразрывно связаны с переходными процессами, происходящими в энергосистеме, и являются функциями баланса мощности в энергосистеме: снижение генерируемой активной мощности приводит к уменьшению частоты и уровня напряжения в системе, её возрастание обуславливает рост как частоты, так и уровня напряжения.

При авариях в энергосистеме отклонение частоты может выйти за допустимые пределы, напряжение может «зависнуть» на уровне 50–80 % $U_{ном}$.

Следует отметить, что при нормальном режиме эксплуатации АС все потребители систем, важных для безопасности, в том числе и систем безопасности, запитаны от системы собственных нужд АС.

Автоматическое включение резерва секций 6 кВ системы собственных нужд и запуск резервных дизель-электростанций систем безопасности в проекте АС предусматривалось при снижении напряжения до $0,25U_{ном}$. Глубокие провалы напряжения на секциях могут привести к тому, что электродвигатели механизмов важных для безопасности систем, находящихся в работе, выйдут из строя, а электродвигатели, на которые подана команда на включение, заведомо не развернутся. Данная ситуация может привести к отказу по общей причине оборудования систем, важных для безопасности, включая системы безопасности [8].

Описанные выше режимы эксплуатации и дефициты безопасности не рассматриваются в техническом обосновании безопасности (ТОБ) ввиду отсутствия конкретных регулирующих требований в нормативных документах по системам надежного электроснабжения. При обосновании безопасности в ТОБ принято самое опасное исходное событие аварии (ИСА) — разрыв трубопроводов главного циркуляционного контура с наложением полного обесточивания энергоблока АС. Для данного ИСА предусмотрены достаточные меры по обеспечению безопасного аварийного расхолаживания реактора.

Режимы с глубокими провалами напряжения на секциях 6 кВ и ухудшением показателей качества электроэнергии (как показано выше) являются более тяжелыми ИСА, нежели те, которые рассматриваются в ТОБ. При возникновении данных режимов возможен отказ по общей причине электродвигателей механизмов СБ одновременно во всех трех каналах СБ. Даже если впоследствии будут включены резервные дизельные электростанции (РДЭС), обеспечить аварийное расхолаживание активной зоны реактора не представляется возможным.

Требования по обеспечению потребителей систем, важных для безопасности, электроэнергией нормируемого качества разработаны на основании опыта эксплуатации и рекомендаций МАГАТЭ и позволят устранить дефициты безопасности эксплуатации АС в части исключения отказа систем и оборудования по общей причине.

Система аварийного электроснабжения (САЭ) предназначена для электроснабжения потребителей систем безопасности электроэнергией постоянного и переменного тока при всех режимах работы энергоблока атомной станции при нормальной эксплуатации, авариях, в том числе с наложением полного обесточивания АС.

Для выполнения системами надежного электроснабжения определенных функций в их состав должны входить автономные источники электроснабжения, преобразователи, распределительные и коммутационные устройства, средства контроля и управления, релейной защиты, автоматики и сигнализации.

Исходя из основополагающей цели безопасности, которая состоит в защите людей и охране окружающей среды, концепции глубоководной защиты [1], обеспечивающей осуществление трех основных функций безопасности (управление мощностью, охлаждение топлива и удержание радиоактивных веществ), САЭ отводится важнейшая роль и к ней предъявляются самые высокие требования по надежности.

При отсутствии электроснабжения системы безопасности не в состоянии выполнить возложенные на них функции безопасности, что может привести к тяжелым последствиям. В отношении систем аварийного электроснабжения систематизированы и конкретизированы требования:

по соблюдению основных принципов, которые должны быть положены в основу проекта (единичного отказа, резервирования, разнообразия, физического разделения);

по надежности электроснабжения потребителей первой и второй групп;

к оборудованию и его компоновке;

к монтажу, наладке и эксплуатации.

Требования гармонизированы со стандартами МАГАТЭ, что позволит обеспечить соответствие САЭ современным международным требованиям.

Выводы

Разработанные требования могут быть использованы для создания нормативных документов по системам надежного электроснабжения АС.

Новые нормативные документы, в основу которых будут заложены данные требования, позволят усовершенствовать нормативную базу и устранить имеющиеся дефициты безопасности нормативного регулирования по системам надежного электроснабжения потребителей систем, важных для безопасности, что позитивно отразится на уровне безопасности эксплуатации АС и повышении роли регулирующего органа при осуществлении надзорных функций за соблюдением ядерной и радиационной безопасности.

Список литературы

1. *НП 306.2.141–2008*. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162 та зареєстр. Міністром України 25.12.2008.
2. *ПНАЭ-Г-5–006–87*. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. — Утв. постановлением Госпроматомнадзора СССР от 30.12.1987 № 2.
3. *ГКД 34.20.507–2003*. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила. — К., 2003.
4. *ПНАЭ Г-9–026–90*. Общие положения по устройству и эксплуатации аварийного электроснабжения атомных станций. — М.: Госпроматомнадзор СССР, 1991.
5. *ПНАЭ Г-9–027–91*. Правила проектирования систем аварийного электроснабжения атомных станций.
6. Руководство МАГАТЭ № NS-G-1.8 Проектирование систем аварийного энергоснабжения атомных станций. — Вена, 2008.
7. *ГОСТ 13109–97*. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — К.: Госстандарт Украины, 1999.
8. *Тарасенко, В. М.* Устойчивость энергосистемы по частоте и ее влияние на надежность и безопасность работы АЭС / В. М. Тарасенко, В. Н. Васильченко, А. И. Мехед и др. // *Ядерная и радиационная безопасность*. — 2001. — № 3.
9. *Тарасенко, В. М.* О самозапуске электродвигателей собственных нужд АЭС / В. М. Тарасенко, В. Н. Васильченко, А. И. Мехед // *Ядерная и радиационная безопасность*. — 2001. — № 4.
10. Звіт про науково-дослідну роботу: 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 / ДНТЦ ЯРБ, Держатомрегулювання України, Національна академія наук України. — 2009.
11. *Правила устройства электроустановок (ПУЭ)*. — Харьков: «Форт», 2009.

Надійшла до редакції 25.02.2011.