

Нормы безопасности МАГАТЭ

для защиты людей и охраны окружающей среды

Проектирование систем электроснабжения атомных электростанций

Специальное руководство по безопасности
№ SSG-34



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

В соответствии со статьей III своего Устава МАГАТЭ уполномочено устанавливать или принимать нормы безопасности для защиты здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

Публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы, выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ. В этой серии охватываются вопросы ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов. **Категории публикаций в этой серии — это Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности.**

Информацию о программе по нормам безопасности МАГАТЭ можно получить на сайте МАГАТЭ в Интернете

www.iaea.org/ru/resursy/normy-bezopasnosti

На этом сайте содержатся тексты опубликованных норм безопасности и проектов норм безопасности на английском языке. Тексты норм безопасности выпускаются на арабском, испанском, китайском, русском и французском языках, там также можно найти глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности и доклад о ходе работы над еще не выпущенными нормами безопасности. Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Всем пользователям норм безопасности МАГАТЭ предлагается сообщать МАГАТЭ об опыте их использования (например, в качестве основы для национальных регулирующих положений, для составления обзоров безопасности и учебных курсов) в целях обеспечения того, чтобы они по-прежнему отвечали потребностям пользователей. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ в Интернете или по почте (см. адрес выше), или по электронной почте по адресу Official.Mail@iaea.org.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

МАГАТЭ обеспечивает применение норм и в соответствии со статьями III и VIII.C своего Устава предоставляет сведения и способствует обмену информацией, касающейся мирной деятельности в ядерной области, и служит в этом посредником между своими государствами-членами.

Доклады по вопросам безопасности в ядерной деятельности выпускаются в качестве **докладов по безопасности**, в которых приводятся практические примеры и подробные описания методов, которые могут использоваться в поддержку норм безопасности.

Другие публикации МАГАТЭ по вопросам безопасности выпускаются в качестве публикаций по **аварийной готовности и реагированию, докладов по радиологическим оценкам, докладов ИНСАГ** — Международной группы по ядерной безопасности, **технических докладов** и документов серии **ТЕСДОС**. МАГАТЭ выпускает также доклады по радиологическим авариям, учебные пособия и практические руководства, а также другие специальные публикации по вопросам безопасности.

Публикации по вопросам физической безопасности выпускаются в **Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности**.

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из информационных публикаций, предназначенных способствовать и содействовать научно-исследовательской работе в области ядерной энергии, а также развитию ядерной энергии и ее практическому применению в мирных целях. В ней публикуются доклады и руководства о состоянии технологий и успехах в их совершенствовании, об опыте, образцовой практике и практических примерах в области ядерной энергетики, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и снятия с эксплуатации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

| | | |
|---|--|--|
| АВСТРАЛИЯ | КАЗАХСТАН | РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ |
| АВСТРИЯ | КАМБОДЖА | РУАНДА |
| АЗЕРБАЙДЖАН | КАМЕРУН | РУМЫНИЯ |
| АЛБАНИЯ | КАНАДА | САЛЬВАДОР |
| АЛЖИР | КАТАР | САМОА |
| АНГОЛА | КЕНИЯ | САН-МАРИНО |
| АНТИГУА И БАРБУДА | КИПР | САУДОВСКАЯ АРАВИЯ |
| АРГЕНТИНА | КИТАЙ | СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ |
| АРМЕНИЯ | КОЛУМБИЯ | СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ |
| АФГАНИСТАН | КОМОРСКИЕ ОСТРОВА | СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА |
| БАГАМСКИЕ ОСТРОВА | КОНГО | СЕНЕГАЛ |
| БАНГЛАДЕШ | КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА | СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ |
| БАРБАДОС | КОСТА-РИКА | СЕНТ-КИТС И НЕВИС |
| БАХРЕЙН | КОТ-Д'ИВУАР | СЕНТ-ЛЮСИЯ |
| БЕЛАРУСЬ | КУБА | СЕРБИЯ |
| БЕЛИЗ | КУВЕЙТ | СИНГАПУР |
| БЕЛГИЯ | КЫРГЫЗСТАН | СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| БЕНИН | ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА | СЛОВАКИЯ |
| БОЛГАРИЯ | ЛАТВИЯ | СЛОВЕНИЯ |
| БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО | ЛЕСОТО | СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ |
| БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА | ЛИБЕРИЯ | |
| БОТСВАНА | ЛИВАН | |
| БРАЗИЛИЯ | ЛИВИЯ | |
| БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ | ЛИТВА | СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ |
| БУРКИНА-ФАСО | ЛИХТЕНШТЕЙН | СОМАЛИ |
| БУРУНДИ | ЛЮКСЕМБУРГ | СУДАН |
| ВАНУАТУ | МАВРИКИЙ | СЬЕРРА-ЛЕОНЕ |
| ВЕНГРИЯ | МАВРИТАНИЯ | ТАДЖИКИСТАН |
| ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА | МАДАГАСКАР | ТАИЛАНД |
| ВЬЕТНАМ | МАЛАВИ | ТОГО |
| ГАБОН | МАЛАЙЗИЯ | ТОНГА |
| ГАИТИ | МАЛИ | ТРИНИДАД И ТОБАГО |
| ГАЙАНА | МАЛЬТА | ТУНИС |
| ГАМБИЯ | МАРОККО | ТУРКМЕНИСТАН |
| ГАНА | МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА | ТУРЦИЯ |
| ГВАТЕМАЛА | МЕКСИКА | УГАНДА |
| ГВИНЕЯ | МОЗАМБИК | УЗБЕКИСТАН |
| ГЕРМАНИЯ | МОНАКО | УКРАИНА |
| ГОНДУРАС | МОНГОЛИЯ | УРУГВАЙ |
| ГРЕНАДА | МЬЯНМА | ФИДЖИ |
| ГРЕЦИЯ | НАМИБИЯ | ФИЛИППИНЫ |
| ГРУЗИЯ | НЕПАЛ | ФИНЛЯНДИЯ |
| ДАНИЯ | НИГЕР | ФРАНЦИЯ |
| ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО | НИГЕРИЯ | ХОРВАТИЯ |
| ДЖИБУТИ | НИДЕРЛАНДОВ, КОРОЛЕВСТВО | ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| ДОМИНИКА | НИКАРАГУА | ЧАД |
| ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА | НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ | ЧЕРНОГОРИЯ |
| ЕГИПЕТ | НОРВЕГИЯ | ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| ЗАМБИЯ | ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ | ЧИЛИ |
| ЗИМБАБВЕ | ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ | ШВЕЙЦАРИЯ |
| ИЗРАИЛЬ | ОМАН | ШВЕЦИЯ |
| ИНДИЯ | ОСТРОВА КУКА | ШРИ-ЛАНКА |
| ИНДОНЕЗИЯ | ПАКИСТАН | ЭКВАДОР |
| ИОРДАНИЯ | ПАЛАУ | ЭРИТРЕЯ |
| ИРАК | ПАНАМА | ЭСВАТИНИ |
| ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА | ПАПУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ | ЭСТОНИЯ |
| ИРЛАНДИЯ | ПАРАГВАЙ | ЭФИОПИЯ |
| ИСЛАНДИЯ | ПЕРУ | ЮЖНАЯ АФРИКА |
| ИСПАНИЯ | ПОЛЬША | ЯМАЙКА |
| ИТАЛИЯ | ПОРТУГАЛИЯ | ЯПОНИЯ |
| ЙЕМЕН | РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА | |
| КАБО-ВЕРДЕ | | |

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире».

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ, № SSG-34

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2024 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Женева) и пересмотренной в 1971 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, может потребоваться разрешение. Более подробная информация приводится на странице <https://www.iaea.org/ru/publikacii/prava-i-razresheniya>. Вопросы следует направлять по адресу:

Издательская секция (Publishing Section)
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр
а/я 100
1400 Вена, Австрия
тел.: +43 1 2600 22529 или 22530
эл. почта: sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2024

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Декабрь 2024 года
STI/PUB/1673

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2024 ГОД
ISBN 978-92-0-448523-3 (печатный формат)
ISBN 978-92-0-448423-6 (формат pdf)
ISSN 1020-5845

ПРЕДИСЛОВИЕ

Устав МАГАТЭ уполномочивает Агентство «устанавливать или применять ... нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества» — нормы, которые МАГАТЭ должно использовать в своей собственной работе и которые государства могут применять посредством их включения в свои регулирующие положения в области ядерной и радиационной безопасности. МАГАТЭ осуществляет это в консультации с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями. Всеобъемлющий свод высококачественных и регулярно пересматриваемых норм безопасности наряду с помощью МАГАТЭ в их применении является ключевым элементом стабильного и устойчивого глобального режима безопасности.

МАГАТЭ начало осуществлять свою программу по нормам безопасности в 1958 году. Значение, уделяемое качеству, соответствию поставленной цели и постоянному совершенствованию, лежит в основе широкого применения норм МАГАТЭ во всем мире. Серия норм безопасности теперь включает единообразные основополагающие принципы безопасности, которые выработаны на основе международного консенсуса в отношении того, что должно пониматься под высоким уровнем защиты и безопасности. При твердой поддержке со стороны Комиссии по нормам безопасности МАГАТЭ проводит работу с целью содействия глобальному признанию и использованию своих норм.

Однако нормы эффективны лишь тогда, когда они надлежащим образом применяются на практике. Услуги МАГАТЭ в области безопасности охватывают вопросы проектирования, выбора площадки и инженерно-технической безопасности, эксплуатационной безопасности, радиационной безопасности, безопасной перевозки радиоактивных материалов и безопасного обращения с радиоактивными отходами, а также вопросы государственной основы, регулирования и культуры безопасности в организациях. Эти услуги в области безопасности содействуют государствам-членам в применении норм и позволяют обмениваться ценным опытом и данными.

Ответственность за деятельность по регулированию безопасности возлагается на страны, и многие государства принимают решения применять нормы МАГАТЭ по безопасности в своих национальных регулирующих положениях. Для сторон различных международных конвенций по безопасности нормы МАГАТЭ являются согласованным и надежным средством обеспечения эффективного выполнения обязательств, вытекающих из этих конвенций. Эти нормы применяются также

регулирующими органами и операторами во всем мире в целях повышения безопасности при производстве ядерной энергии и применении ядерных методов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях.

Безопасность — это не самоцель, а необходимое условие защиты людей во всех государствах и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Риски, связанные с ионизирующими излучениями, должны оцениваться и контролироваться без неоправданного ограничения вклада ядерной энергии в справедливое и устойчивое развитие. Правительства, регулирующие органы и операторы во всем мире должны обеспечивать, чтобы ядерный материал и источники излучения использовались для всеобщего блага, в условиях безопасности и с учетом мнения общественности. Для содействия этому предназначены нормы МАГАТЭ по безопасности, которые я призываю применять все государства-члены.

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоактивность — это естественное явление, и в окружающей среде присутствуют природные (естественные) источники излучения. Ионизирующие излучения и радиоактивные вещества с пользой применяются во многих сферах — от производства энергии до использования в медицине, промышленности и сельском хозяйстве. Радиационные риски, которым в результате этих применений могут подвергаться работники, население и окружающая среда, подлежат оценке и должны в случае необходимости контролироваться.

Поэтому такая деятельность, как медицинское использование излучения, эксплуатация ядерных установок, производство, перевозка и использование радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами, должна осуществляться в соответствии с нормами безопасности.

Ответственность за регулирование в области безопасности возлагается на государства. Однако радиационные риски могут выходить за пределы национальных границ, и в рамках международного сотрудничества принимаются меры по обеспечению и укреплению безопасности в глобальном масштабе посредством обмена опытом и расширения возможностей для контроля опасностей, предотвращения аварий, реагирования в случае аварийных ситуаций и смягчения любых вредных последствий.

Государства обязаны проявлять должную осмотрительность и соответствующую осторожность, и предполагается, что они будут выполнять свои национальные и международные обязательства.

Международные нормы безопасности содействуют выполнению государствами своих обязательств согласно общим принципам международного права, например, касающимся охраны окружающей среды. Кроме того, международные нормы безопасности укрепляют и обеспечивают уверенность в безопасности и способствуют международной торговле.

Глобальный режим ядерной безопасности постоянно совершенствуется. Нормы безопасности МАГАТЭ, которые поддерживают осуществление имеющих обязательную силу международных договорно-правовых документов и функционирование национальных инфраструктур безопасности, являются краеугольным камнем этого глобального режима.

Нормы безопасности МАГАТЭ представляют собой полезный инструмент, с помощью которого договаривающиеся стороны оценивают свою деятельность по выполнению этих конвенций.

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Статус норм безопасности МАГАТЭ вытекает из Устава МАГАТЭ, которым МАГАТЭ уполномочивается устанавливать и применять, в консультации и в надлежащих случаях в сотрудничестве с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями, нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

В целях обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения нормы безопасности МАГАТЭ устанавливают основополагающие принципы безопасности, требования и меры для обеспечения контроля за радиационным облучением людей и выбросом радиоактивного материала в окружающую среду, ограничения вероятности событий, которые могут привести к утрате контроля за активной зоной ядерного реактора, ядерной цепной реакцией, радиоактивным источником или любым другим источником излучения, и смягчения последствий таких событий в случае, если они будут иметь место. Нормы касаются установок и деятельности, связанных с радиационными рисками, включая ядерные установки, использование радиационных и радиоактивных источников, перевозку радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами.

Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности¹ преследуют общую цель защиты жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды. Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности должны разрабатываться и осуществляться комплексно таким образом, чтобы меры по обеспечению физической безопасности не осуществлялись в ущерб безопасности, и наоборот, чтобы меры по обеспечению безопасности не осуществлялись в ущерб физической безопасности.

¹ См. также публикации в серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности.

Нормы безопасности МАГАТЭ отражают международный консенсус в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Они выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ, которая состоит из документов трех категорий (см. рис. 1).

Основы безопасности

Основы безопасности содержат основополагающие цели и принципы защиты и безопасности и служат основой для требований безопасности.

Требования безопасности

Комплексный и согласованный свод требований безопасности устанавливает требования, которые должны выполняться с целью обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Эти требования устанавливаются в соответствии с целями и принципами, изложенными в Основах безопасности. Если требования не выполняются, то должны приниматься меры для



РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм безопасности МАГАТЭ.

достижения или восстановления требуемого уровня безопасности. Формат и стиль требований облегчают их гармоничное использование для создания национальной основы регулирования. Требования, включая пронумерованные всеобъемлющие требования, выражаются формулировками «должен, должна, должно, должны». Многие требования конкретно не адресуются, а это означает, что за их выполнение отвечают соответствующие стороны.

Руководства по безопасности

В руководствах по безопасности содержатся рекомендации и руководящие материалы, касающиеся выполнения требований безопасности, и в них выражается международный консенсус в отношении необходимости принятия рекомендуемых мер (или эквивалентных альтернативных мер). В руководствах по безопасности представлена международная надлежащая практика, и они во все большей степени отражают наилучшую практику, помогающую пользователям достичь высокого уровня безопасности. Рекомендации, содержащиеся в руководствах по безопасности, формулируются с применением глагола «следует».

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Основными пользователями норм безопасности в государствах — членах МАГАТЭ являются регулирующие и другие соответствующие государственные органы. Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ используются другими организациями-спонсорами и многочисленными организациями, которые занимаются проектированием, сооружением и эксплуатацией ядерных установок, а также организациями, участвующими в использовании радиационных и радиоактивных источников.

Нормы безопасности МАГАТЭ применяются в соответствующих случаях на протяжении всего жизненного цикла всех имеющихся и новых установок, используемых в мирных целях, и на протяжении всей нынешней и новой деятельности в мирных целях, а также в отношении защитных мер, применяемых с целью уменьшения существующих радиационных рисков. Они могут использоваться государствами в качестве основы для национальных регулирующих положений в отношении установок и деятельности.

Согласно Уставу МАГАТЭ нормы безопасности являются обязательными для МАГАТЭ применительно к его собственной деятельности, а также для государств применительно к работе, выполняемой с помощью МАГАТЭ.

Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ формируют основу для услуг МАГАТЭ по рассмотрению безопасности, и они используются МАГАТЭ для повышения компетентности, включая разработку учебных планов и проведение учебных курсов.

Международные конвенции содержат требования, которые аналогичны требованиям, изложенным в нормах безопасности МАГАТЭ, и являются обязательными для договаривающихся сторон. Нормы безопасности МАГАТЭ, подкрепляемые международными конвенциями, отраслевыми стандартами и подробными национальными требованиями, создают прочную основу для защиты людей и охраны окружающей среды. Существуют также некоторые особые вопросы безопасности, требующие оценки на национальном уровне. Например, многие нормы безопасности МАГАТЭ, особенно нормы, посвященные вопросам планирования или разработки мер по обеспечению безопасности, предназначаются, прежде всего, для применения к новым установкам и видам деятельности. На некоторых существующих установках, сооруженных в соответствии с нормами, принятыми ранее, не возможно выполнять в полном объеме требования, установленные в нормах безопасности МАГАТЭ. Вопрос о том, как нормы безопасности МАГАТЭ должны применяться на таких установках, решают сами государства.

Научные соображения, лежащие в основе норм безопасности МАГАТЭ, обеспечивают объективную основу для принятия решений по вопросам безопасности; однако органы, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения, а также должны определять, как обеспечить оптимальный баланс между пользой от принимаемых мер или осуществляемых мероприятий и связанными с ними радиационными рисками и любыми иными негативными последствиями применения этих мер или мероприятий.

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Подготовкой и рассмотрением норм безопасности занимаются Секретариат МАГАТЭ и пять комитетов по нормам безопасности, охватывающих аварийную готовность и реагирование (ЭПРеСК), ядерную безопасность (НУССК), радиационную безопасность (РАССК), безопасность радиоактивных отходов (ВАССК) и безопасную перевозку радиоактивных материалов (ТРАНССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой по нормам безопасности МАГАТЭ (см. рис. 2).



РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

Все государства — члены МАГАТЭ могут назначать экспертов в комитеты по нормам безопасности и представлять замечания по проектам норм. Члены Комиссии по нормам безопасности назначаются Генеральным директором, и в ее состав входят старшие правительственные должностные лица, несущие ответственность за установление национальных норм.

Для осуществления процессов планирования, разработки, рассмотрения, пересмотра и установления норм безопасности МАГАТЭ создана система управления. Особое место в ней занимают мандат МАГАТЭ, видение будущего применения норм, политики и стратегий безопасности и соответствующие функции и обязанности.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

При разработке норм безопасности МАГАТЭ учитываются выводы Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) и рекомендации международных экспертных органов, в частности, Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Некоторые нормы безопасности разрабатываются в сотрудничестве с другими органами системы Организации Объединенных Наций или другими специализированными учреждениями, включая Продовольственную и сельскохозяйственную организацию Объединенных Наций, Программу Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международную организацию труда, Агентство по ядерной энергии ОЭСР, Панамериканскую организацию здравоохранения и Всемирную организацию здравоохранения.

ТОЛКОВАНИЕ ТЕКСТА

Относящиеся к ядерной и физической безопасности термины следует понимать так, как они представлены в Глоссарии МАГАТЭ по ядерной и физической безопасности (см. <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>). Во всех остальных случаях в издании на английском языке слова используются с написанием и значением, приведенными в последнем издании Краткого оксфордского словаря английского языка. Для руководств по безопасности аутентичным текстом является английский вариант.

Общие сведения и соответствующий контекст норм в Серии норм безопасности МАГАТЭ, а также их цель, сфера применения и структура приводятся в разделе 1 «Введение» каждой публикации.

Материал, который нецелесообразно включать в основной текст (например, материал, являющийся вспомогательным или отдельным от основного текста, дополняет формулировки основного текста или описывает методы расчетов, процедуры или пределы и условия), может быть представлен в дополнениях или приложениях.

Дополнение, если оно включено, рассматривается в качестве неотъемлемой части норм безопасности. Материал в дополнении имеет тот же статус, что и основной текст, и МАГАТЭ берет на себя авторство в отношении такого материала. Приложения и сноски к основному тексту, если они включены, используются для предоставления практических примеров или дополнительной информации или пояснений. Приложения и сноски не являются неотъемлемой частью основного текста. Материал

в приложениях, опубликованный МАГАТЭ, не обязательно выпускается в качестве его авторского материала; в приложениях к нормам безопасности может быть представлен материал, имеющий другое авторство. Посторонний материал, публикуемый в приложениях, приводится в виде выдержек и адаптируется по мере необходимости, с тем чтобы быть в целом полезным.

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|----|---|----|
| 1. | ВВЕДЕНИЕ | 1 |
| | Общие сведения (1.1–1.7) | 1 |
| | Цель (1.8) | 4 |
| | Область применения (1.9–1.17) | 5 |
| | Структура (1.18–1.27) | 8 |
| 2. | СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ | 9 |
| | Описание системы электроснабжения атомной электростанции (2.1–2.10) | 9 |
| | Роль сводов положений и норм (2.11–2.14) | 13 |
| | Аспекты проектирования, обусловленные требованиями ядерной безопасности (2.15–2.27) | 13 |
| | Аспекты проектирования, обусловленные критериями проектирования электротехнических устройств (2.28–2.36) ... | 16 |
| 3. | КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (3.1–3.14) | 18 |
| 4. | ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (4.1–4.10) | 20 |
| 5. | ОБЩИЕ РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ... | 25 |
| | Общие положения (5.1–5.10) | 25 |
| | Проектирование в целях обеспечения надежности (5.11–5.82) | 29 |
| | Номинальные характеристики (5.83–5.98) | 42 |
| | Электрооборудование, кабели и кабельные каналы (5.99–5.121) | 44 |
| | Способы заземления (5.122–5.137) | 48 |
| | Молниезащита и защита от перенапряжения (5.138–5.153) | 50 |
| | Аттестация оборудования (5.154–5.203) | 52 |
| | Проектирование для нужд управления старением (5.204–5.217) | 60 |
| | Управление доступом (5.218–5.222) | 63 |

| | |
|---|-----|
| Контрольные испытания и контролепригодность (5.223–5.236) | 64 |
| Ремонтопригодность (5.237–5.240) | 67 |
| Меры по временному отключению электрооборудования для проведения испытаний или технического обслуживания (5.241–5.248) | 68 |
| Совместное использование конструкций, систем и элементов на многоблочных станциях (5.249–5.254) | 69 |
| Маркировка и идентификация (5.255–5.261) | 70 |
| Электрические проходки в гермооболочке (5.262–5.270) | 71 |
| Распределительные системы (5.271–5.277). | 73 |
| Управление и контроль (5.278–5.291) | 74 |
| Связанные с безопасностью резервные источники электропитания переменного тока (5.292–5.295) | 76 |
| | |
| 6. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ | 77 |
| | |
| Общие положения (6.1–6.6) | 77 |
| Надежность защитных устройств и высоковольтного оборудования (6.7–6.9). | 78 |
| Внеплощадочные источники электропитания (6.10–6.22) | 79 |
| Доступность (6.23–6.35) | 81 |
| Независимость внеплощадочных электрических цепей (6.36–6.37) | 82 |
| Распределительное устройство (6.38–6.44). | 83 |
| Стабильность и надежность энергосети (6.45–6.47) | 84 |
| Устройства сопряжения и взаимодействие между оператором системы электропередачи и эксплуатирующей организацией атомной электростанции (6.48–6.60) | 84 |
| Оценка надежности сетевых подключений (6.61–6.63). | 86 |
| | |
| 7. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ НАДЕЖНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ | 87 |
| | |
| Общие положения (7.1–7.19) | 87 |
| Проектирование в целях обеспечения надежности (7.20–7.34) | 91 |
| Резервные источники надежного электропитания переменного тока (7.35–7.82) | 93 |
| Системы электропитания постоянного тока (7.83–7.127). | 100 |

| | | |
|----|---|-----|
| 8. | АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (8.1–8.18)..... | 108 |
| 9. | ПОДТВЕРЖДЕНИЕ И ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ПРОЕКТА | 111 |
| | Система менеджмента (9.1) | 111 |
| | Верификация (9.2–9.14) | 111 |
| | Проектная документация (9.15) | 114 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 117 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ I. ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ | 119 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ II. АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЕКТА..... | 131 |
| | ОПРЕДЕЛЕНИЯ | 143 |
| | СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ | 145 |

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство по безопасности выпущено в дополнение к публикации категории конкретных требований безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» (Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1)) [1], в которой устанавливаются требования к проектированию атомных электростанций.

1.2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации по необходимым характеристикам систем электроснабжения атомных электростанций и по процессам разработки этих систем в целях соблюдения требований безопасности, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. В нем учтены изменения, внесенные в SSR-2/1¹ и, в частности, в требование 68.

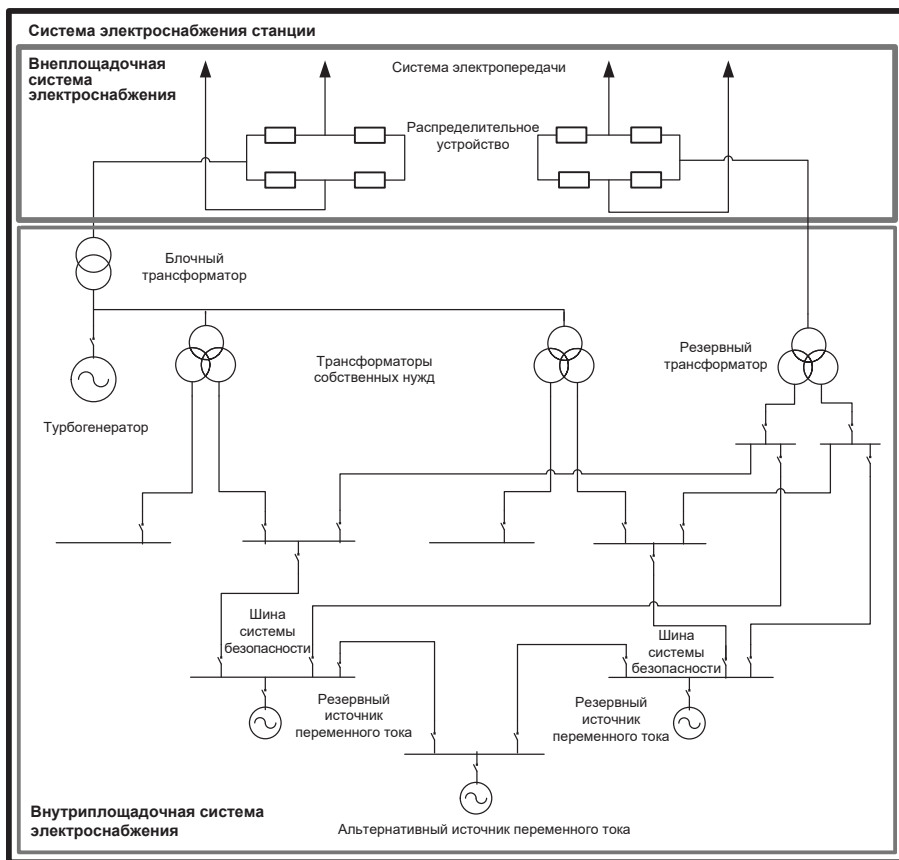
1.3. Настоящая публикация является переработанным вариантом руководства по безопасности № NS-G-1.8 «Проектирование систем аварийного энергоснабжения атомных электростанций», выпущенного в Серии норм безопасности МАГАТЭ в 2008 году, и заменяет эту публикацию². В настоящей публикации учтены разработки в области проектирования систем аварийного электроснабжения атомных электростанций, ее объем расширен за счет включения в него всех систем электроснабжения, обслуживающих системы, важные для безопасности (см. рис. 1 и 2).

1.4. Кроме того, в заменяемой публикации NS-G-1.8 содержались руководящие указания по неэлектрическим системам, обеспечивающим аварийное энергоснабжение. Руководящие указания по таким системам будут опубликованы в новом руководстве по безопасности, посвященном системам собственных нужд и вспомогательным системам атомных электростанций, которое готовится в настоящее время.

¹ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Безопасность атомных электростанций: проектирование», Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1, МАГАТЭ, Вена (2012).

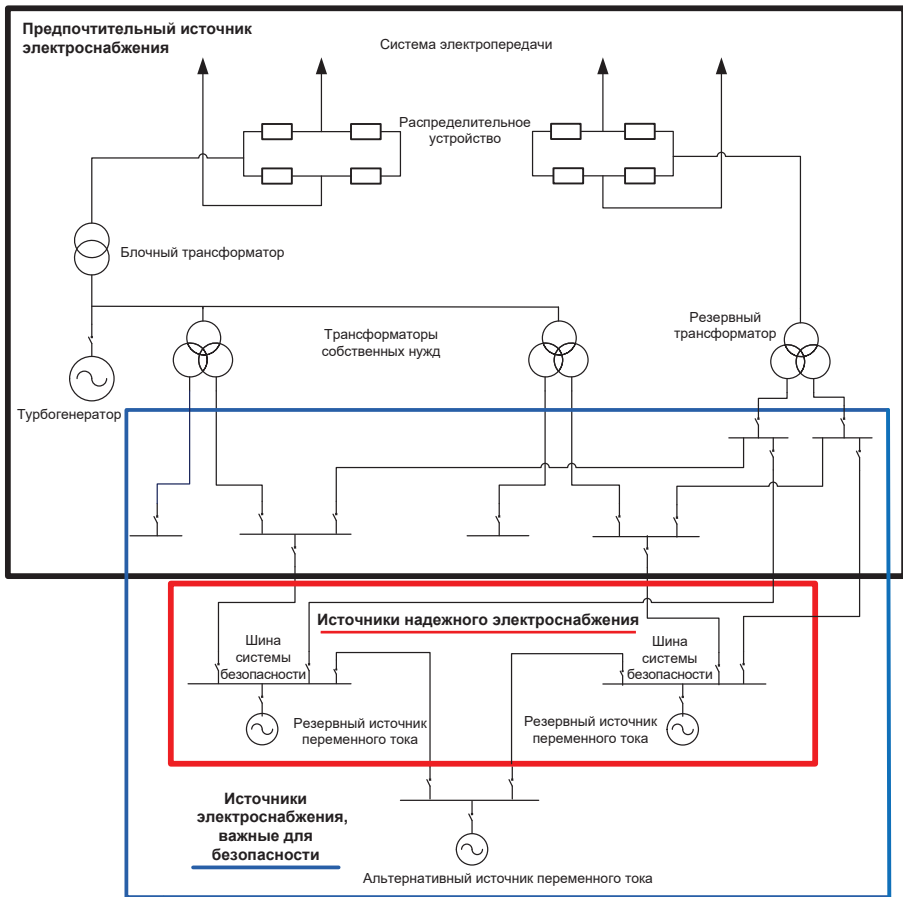
² МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем аварийного энергоснабжения атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.8, МАГАТЭ, Вена (2008).

1.5. Системы электроснабжения, снабжающие энергией системы, важные для безопасности, необходимы для обеспечения безопасности атомных электростанций. В их состав входят как системы, расположенные на площадке атомной электростанции (внутриплощадочные системы), так и находящиеся за ее пределами (внеплощадочные системы).



Примечание: Данный рисунок приведен только в качестве примера. Возможны различные схемы расположения шин, потребителей, генераторов и соединений, соответствующие требованиям SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Кроме того, не показаны многие элементы станционной системы, такие как шины, не важные для безопасности, и системы электроснабжения постоянного тока.

РИС. 1. Взаимосвязи между станционной системой электроснабжения, внеплощадочными и внутриплощадочными системами электроснабжения атомной электростанции.



Примечание: Данный рисунок приведен только в качестве примера. Возможны различные схемы расположения шин, потребителей, генераторов и подключений, соответствующие требованиям SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Кроме того, не показаны многие элементы станционной системы, такие как шины, не важные для безопасности, и системы электроснабжения постоянного тока. Данный рисунок предназначен исключительно для иллюстрации взаимосвязей между классифицированными по безопасности элементами системы электроснабжения станции и предпочтительным источником электроснабжения. Элементы предпочтительного источника электроснабжения, не относящиеся к источникам электроснабжения, важным для безопасности, не относятся к оборудованию станции, классифицированному по безопасности. Элементы системы, относящиеся к источникам электроснабжения, важным для безопасности, различаются в зависимости от проекта станции и методов классификации, применяемых в разных государствах. Проекты некоторых станций не требуют использования резервных источников надежного электроснабжения. Предполагается, что на всех атомных электростанциях должны иметься источники надежного электроснабжения постоянного тока.

Рис. 2. Взаимосвязи между источниками электроснабжения, важными для безопасности, источниками надежного электроснабжения и предпочтительным источником электроснабжения на атомной электростанции.

Совместная работа систем электроснабжения, расположенных на площадке атомной электростанции и за ее пределами, обеспечивает станцию необходимой энергией во всех условиях эксплуатации, поддерживая ее в безопасном состоянии. Расположенные за пределами площадки электрические системы не относятся к станционному оборудованию. Тем не менее они жизненно необходимы для безопасности атомной электростанции и важны для концепции глубокоэшелонированной защиты.

1.6. В настоящем Руководстве по безопасности предпочтительным источником электроснабжения определено электроснабжение от системы электропередачи или от турбогенератора до клемм системы электроснабжения, классифицированной по безопасности. В состав данного источника электроснабжения входит система электропередачи, распределительное устройство, турбогенератор и электрораспределительная сеть до клемм системы электроснабжения, классифицированной по безопасности. Компоненты предпочтительного источника электроснабжения, входящие в состав внеплощадочной энергосети (например, система электропередачи), не являются станционным оборудованием и, следовательно, не подпадают под классификацию по безопасности, принятую на станции (см. рис. 2). Расположение границы между внеплощадочными и внутриплощадочными источниками электроснабжения определяется по усмотрению каждой конкретной станции.

1.7. Применять все рекомендации настоящего Руководства по безопасности к атомным электростанциям, которые уже эксплуатируются или строятся, может быть нецелесообразно. При анализах безопасности таких проектов предполагается, что проводится сравнение с действующими стандартами, например в рамках периодической экспертизы безопасности станции, чтобы определить, можно ли еще более повысить безопасность эксплуатации станции за счет внесения практических усовершенствований в системы безопасности.

ЦЕЛЬ

1.8. Цель настоящего Руководства по безопасности — дать рекомендации и руководящие указания по соблюдению требований к проектированию систем электроснабжения, установленных в требованиях 41 и 68, пункты 6.48–6.55, а также в общих требованиях разделов 2–5 SSR 2/1 (Rev. 1) [1]. Оно предназначено для всех тех, кто занимается

проектированием, эксплуатацией, техническим обслуживанием, модификацией, оценкой и лицензированием атомных электростанций, в том числе проектировщиков, рецензентов, специалистов по экспертизе и оценке безопасности, регулирующих органов, эксплуатирующих организаций и операторов. Руководство по безопасности не содержит подробных руководящих указаний по процессам внедрения, используемым методам или технологиям, за исключением случаев, когда это нужно для пояснения.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.9. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации и руководящие указания по требованиям к системам электроснабжения, соблюдение которых необходимо как на новых, так и на действующих атомных электростанциях. Его положения применимы ко всем системам электроснабжения атомных электростанций, важным для безопасности, а также к предпочтительному источнику электроснабжения.

1.10. Положения настоящего Руководства по безопасности применимы к атомным электростанциям всех типов. Объем систем электроснабжения, важных для безопасности, и систем надежного электроснабжения, указанных в классификации систем электроснабжения, различается в зависимости от проекта. В настоящем Руководстве по безопасности изложены минимальные рекомендуемые требования к проектированию систем электроснабжения с разными уровнями напряжения, необходимым для обеспечения глубокоэшелонированной защиты и соблюдения принципа неодинаковости. Во всех случаях настоящее Руководство по безопасности следует использовать вместе с отчетом по обоснованию безопасности станции, чтобы определить значимость для безопасности и важность разных источников электроснабжения. Например, на станциях с пассивными инженерными средствами безопасности классификация систем электроснабжения может существенно отличаться от представленной на рис. 2.

1.11. Дополнительные рекомендации в отношении электронных устройств, используемых для управления и защиты систем электроснабжения станции, приведены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-39 «Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций» [2].

1.12. На рисунках 1–3 показаны примеры систем электроснабжения атомных электростанций, иллюстрирующие область применения настоящего Руководства по безопасности и используемую терминологию. Дополнительные пояснения содержатся в перечне определений.

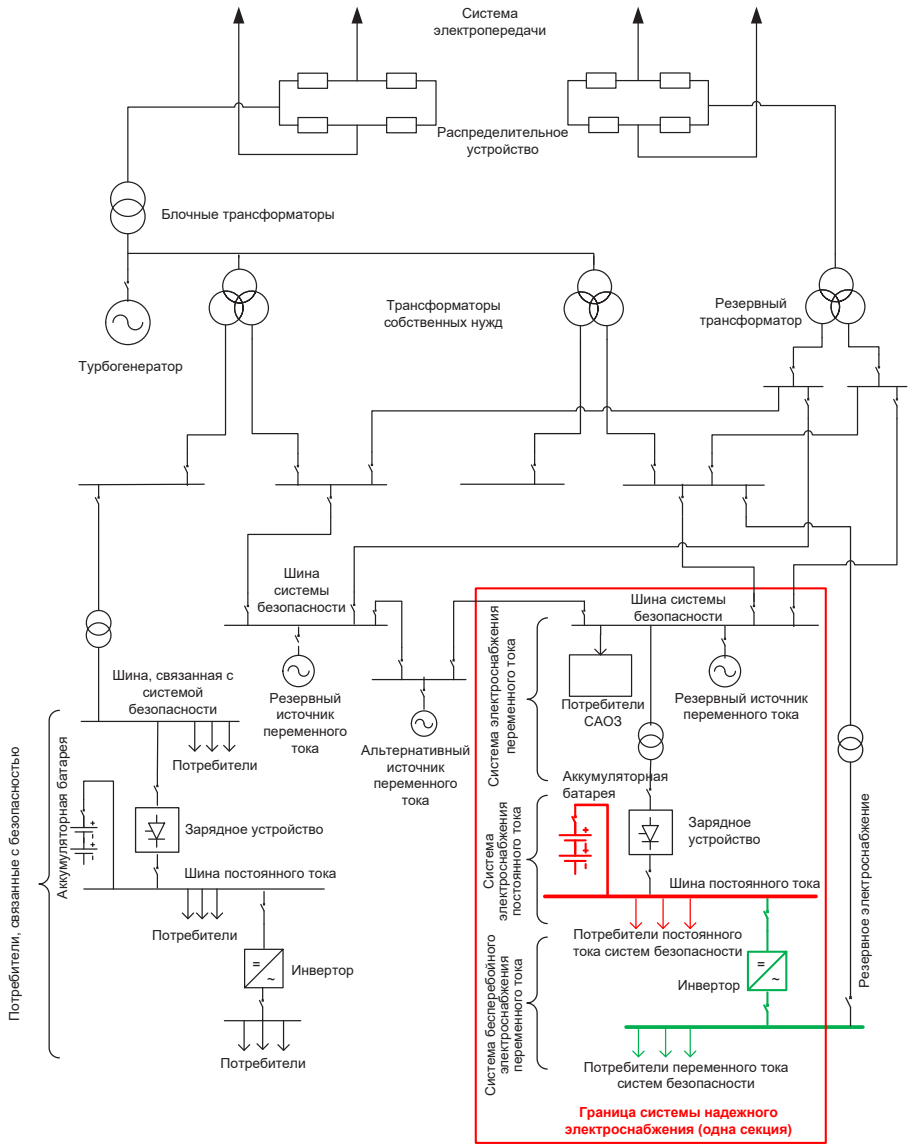
1.13. Настоящее Руководство по безопасности посвящено системам электроснабжения. Рекомендации по техническим характеристикам потребителей в нем не приводятся, но необходимо, чтобы такие технические характеристики соответствовали руководящим принципам проектирования систем электроснабжения.

1.14. Электроснабжение систем физической безопасности (например, ограждений, систем наблюдения и контроля доступа) в настоящем Руководстве по безопасности не рассматривается.

1.15. Настоящее Руководство по безопасности следует использовать совместно с другими применимыми нормами безопасности Серии норм безопасности МАГАТЭ.

1.16. Дополнительные руководящие указания по проектированию и разработке систем электроснабжения и электрооборудования можно получить от государств и организаций, устанавливающих стандарты. Такие публикации отличаются значительно большей детальностью, которая неуместна в нормах безопасности МАГАТЭ. Предполагается, что настоящее Руководство по безопасности будет использоваться совместно с подробными отраслевыми нормами.

1.17. При проектировании систем электроснабжения необходимо проанализировать и принять во внимание потенциальные взаимосвязи между физической безопасностью и ядерной безопасностью. В публикации Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности № 13 «Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Revision 5)» [3] приводятся рекомендации по обеспечению физической безопасности ядерных установок.



Примечание: САОЗ — система аварийного охлаждения активной зоны.

Рис. 3. Схема различных частей системы электроснабжения атомной электростанции, описанных в настоящем Руководстве по безопасности (типичная схема для одной секции).

СТРУКТУРА

1.18. В разделе 2 представлены основные системы типичной системы электроснабжения атомной электростанции и даются рекомендации по основополагающим целям, которые должны достигаться каждой из этих систем.

1.19. В разделе 3 рассказывается о применении классификации по безопасности к системам электроснабжения.

1.20. В разделе 4 кратко описывается рекомендуемое содержание проектных основ систем электроснабжения.

1.21. В разделе 5 приводятся общие рекомендации, применимые ко всем системам электроснабжения переменного (AC) и постоянного (DC) тока. Они являются минимальными рекомендациями для систем, не описанных в разделах 6–9. Для систем, описанных в разделах 6–9, рекомендации раздела 5 следует использовать вместе с конкретными рекомендациями.

1.22. В разделе 6 содержатся рекомендации по предпочтительным источникам электроснабжения. Это источники электроснабжения нормальной эксплуатации всех станционных систем, важных для безопасности, и при их наличии они всегда являются первым и наилучшим вариантом из всех станционных источников электроснабжения.

1.23. В разделе 7 приводятся рекомендации, относящиеся конкретно к проектированию систем надежного электроснабжения, включая резервные источники надежного электроснабжения.

1.24. В разделе 8 даются рекомендации, относящиеся конкретно к проектированию альтернативных источников электроснабжения переменного тока. Они дополняют руководящие указания по данным системам в разделе 5. Альтернативные источники электроснабжения переменного тока часто предусматриваются для защиты от одновременного отказа внеплощадочных и аварийных внутриплощадочных источников электроснабжения переменного тока.

1.25. В разделе 9 приводятся рекомендации в отношении деятельности по подтверждению адекватности проекта системы электроснабжения и документации системного уровня, которые следует представлять как для обоснования безопасности станции, так и для нужд эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, испытаний и верификации.

1.26. В приложении I рассматривается взаимосвязь между проектированием систем электроснабжения и концепцией глубокоэшелонированной защиты, описанной в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

1.27. В приложении II приведен пример анализа систем электроснабжения при верификации проекта атомной электростанции.

2. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

2.1. На рисунках 1–3 показаны примерные схемы системы электроснабжения атомной электростанции. Проект системы электроснабжения конкретной станции зависит от энергосети, конструкции станционных систем и инженерно-конструкторских решений, которые в настоящем Руководстве по безопасности не рассматриваются. Поэтому рисунки 1–3 не следует воспринимать как рекомендуемый проект для какой-либо конкретной атомной электростанции.

2.2. Система надежного электроснабжения может запитываться как от предпочтительных, так и от резервных источников. Кроме того, в запроектных условиях системы надежного электроснабжения могут также работать от альтернативных источников переменного тока.

2.3. В настоящем Руководстве по безопасности рассматриваются три основные подсистемы системы электроснабжения станции: внеплощадочная система электроснабжения, внутриплощадочная система электроснабжения и предпочтительная система электроснабжения. В нижеследующих пунктах разъясняется употребление этих терминов в настоящем Руководстве по

безопасности. Употребление этих терминов в других документах зависит от особенностей проекта станции и может отличаться от их употребления в данном Руководстве по безопасности.

Внеплощадочная система электроснабжения

2.4. Внеплощадочная система электроснабжения состоит из системы электропередачи (энергосети) и распределительного устройства, через которое станция подключается к энергосети. Как правило, внеплощадочная система электроснабжения обеспечивает станцию электроэнергией переменного тока во всех режимах эксплуатации и во всех состояниях станции. Кроме того, ее линии электропередачи используются для отводимой энергии (см. рис. 1). Граница между внутриплощадочными и внеплощадочными системами электроснабжения проходит в точке, где узлы, контролируемые оператором системы электропередачи, подключаются к оборудованию, контролируемому оператором атомной электростанции. Как правило, эта граница проходит по находящимся на стороне энергосети вводам трансформатора, подключаемого к линии электропередачи, или по находящимся на стороне энергосети вводам высоковольтного выключателя, ближайшего к станции.

2.5. Внеплощадочная система электроснабжения играет важную роль с точки зрения безопасности, обеспечивая надежное электроснабжение внутриплощадочных систем электроснабжения от различных источников энергии: i) турбогенератора через трансформаторы собственных нужд; ii) энергосети через резервный трансформатор. Внеплощадочная система электроснабжения является частью предпочтительного источника электроснабжения (см. рис. 2).

2.6. Изначально надежная энергосеть обеспечивает высокий уровень надежности внеплощадочного электроснабжения, поскольку она оперативно гасит эффекты возмущений сети при нормальной работе и минимизирует колебания напряжения и частоты в подключенной системе электроснабжения атомной электростанции. Аналогичным образом, крупные энергоблоки атомных электростанций с быстродействующими регулятором турбины и системами возбуждения генератора могут в значительной мере способствовать повышению надежности энергосети. Ввиду такой взаимозависимости хорошая функциональная интеграция при проектировании и тесная координация работы операторов энергосети и атомной электростанции во время крупных эксплуатационных изменений

как в энергосети, так и на атомной электростанции являются важными условиями безопасной и надежной работы как энергосети, так и атомной электростанции.

Внутриплощадочная система электроснабжения

2.7. Внутриплощадочная система электроснабжения (см. рис. 1) состоит из распределительных систем и источников электроснабжения, расположенных в пределах станции. В ее состав входят источники электроснабжения переменного и постоянного тока, необходимые для перевода станции в контролируемое состояние после ожидаемых при эксплуатации событий или аварийных условий и для поддержания ее в контролируемом или безопасном состоянии до восстановления электроснабжения от внеплощадочных источников. Автономные источники питания, такие как выделенные источники электроснабжения систем физической безопасности, в нее не входят. По значимости для безопасности внутриплощадочные системы электроснабжения делятся на системы, важные для безопасности (системы безопасности и системы, связанные с безопасностью), и системы, не важные для безопасности.

2.8. Основными компонентами внутриплощадочной системы электроснабжения являются турбогенератор, повышающий трансформатор генератора, трансформатор собственных нужд, резервный трансформатор и распределительная система, обеспечивающая питание оборудования собственных нужд энергоблоков, вспомогательного оборудования собственных нужд, распределительного устройства, аккумуляторов, выпрямителей, инверторов и/или источников бесперебойного питания, кабелей и резервных источников переменного тока (см. рис. 1). Отдельные компоненты внутриплощадочной системы электроснабжения являются частью предпочтительного источника электроснабжения.

2.9. Как правило, внутриплощадочные системы электроснабжения подразделяются на три типа систем в зависимости от потребностей электропотребителей в мощности, которые описываются ниже.

- a) Система электроснабжения переменного тока. Функции назначенных потребителей переменного тока допускают определенный перерыв в электропитании. Обычно система электроснабжения переменного тока включает в себя резервный источник переменного тока и альтернативный источник переменного тока. Защитные реле обнаруживают потерю предпочтительного источника переменного

тока, питающего системы электроснабжения, и автоматически включают резервный источник электроснабжения. В большинстве случаев в анализе безопасности станции предполагается, что резервный источник переменного тока должен использоваться для останова станции после проектных аварий, а альтернативный источник переменного тока — для запроектных условий.

- b) Система электроснабжения постоянного тока. Она обеспечивает непрерывное электроснабжение потребителей постоянного тока от аккумуляторных батарей. Система электроснабжения постоянного тока включает в себя зарядные устройства аккумуляторных батарей, которые подключены к источнику электроснабжения переменного тока систем электроснабжения. Иногда предусматриваются отдельные системы электроснабжения постоянного тока для потребителей разных классов безопасности.
- c) Система бесперебойного электроснабжения переменного тока. Она подает электроэнергию от инверторов или мотор-генераторных агрегатов, которые, в свою очередь, запитываются от источника постоянного тока, например системы электроснабжения постоянного тока или специальных аккумуляторных батарей с выпрямителями, и включает в себя схему шунтирования, позволяющую подавать электроэнергию важным для безопасности потребителям непосредственно от классифицированных по безопасности систем электроснабжения переменного тока при проведении технического обслуживания и в случае аварий.

Предпочтительный источник электроснабжения

2.10. Предпочтительным источником электроснабжения является источник электроснабжения нормальной эксплуатации всех стационарных систем, важных для безопасности. В случае его доступности он всегда является первым и наилучшим вариантом источника питания систем надежного электроснабжения. В состав предпочтительного источника электроснабжения входят отдельные компоненты как внутримплощадочных, так и внеплощадочных систем (см. рис. 2).

РОЛЬ СВОДОВ ПОЛОЖЕНИЙ И НОРМ

2.11. Требование 9 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Узлы АЭС, важные для безопасности, должны проектироваться согласно соответствующим национальным и международным сводам положений и нормам».

2.12. Внеплощадочная система электроснабжения должна удовлетворять критериям ядерной безопасности, установленным национальными и международными стандартами, электросетевым кодексом и критериями электротехнического проектирования (предусмотренными национальными правилами эксплуатации электротехнического оборудования).

2.13. Для обеспечения высокого уровня надежности и доступности во всех режимах эксплуатации станции систему электроснабжения станции следует проектировать и конструировать в соответствии с национальными и международными нормами, касающимися ядерной отрасли, и национальными сводами правил безопасности.

2.14. В национальных сводах правил безопасности содержатся указания по требованиям к проектированию для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации систем электроснабжения. Соблюдение этих сводов правил безопасности, как правило, дает обоснованную уверенность в том, что системы электроснабжения атомной электростанции смогут справиться со своими задачами.

АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯМИ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

2.15. Системы и компоненты электроснабжения атомной электростанции обеспечивают питание систем собственных нужд станции от внутриплощадочных и внеплощадочных источников электроснабжения.

2.16. Следует обеспечить высокую эксплуатационную устойчивость и высокую надежность внеплощадочного источника электроснабжения и внеплощадочной системы во всех состояниях станции и при всех условиях ее эксплуатации. При проектировании внутриплощадочной

системы электроснабжения следует учитывать пределы возможностей внеплощадочной системы электроснабжения и ее влияние на ядерную безопасность.

2.17. Стабильная и надежная энергосеть (с надежными производственными установками, системами передачи и распределения электроэнергии) имеет основополагающее значение для безопасности атомной электростанции.

2.18. Нарушения нормального режима работы энергосети могут создать угрозу безопасности, когда атомная электростанция работает в качестве:

- генерирующей установки;
- потребителя во время пуска и останова;
- высокоприоритетного аварийного потребителя во время определенных событий и ожидаемых при эксплуатации событий.

2.19. Устойчивые в эксплуатационном отношении системы должны обладать:

- a) достаточными запасами мощности и изначально присущим консерватизмом, не позволяющими выйти за пределы технических характеристик, возможностей и ресурса оборудования, требуемых для решения поставленных задач;
- b) уставками защиты оборудования, выбранными с учетом ожидаемых изменений в работе внутрислощадочных и внеплощадочных систем электроснабжения;
- c) способностью поддерживать противоаварийные операции, связанные с долговременными перегрузками или избыточным напряжением, а также защитные действия, которые инициируются при необходимости для сохранения работоспособности систем надежного электроснабжения.

2.20. Системы электроснабжения всех уровней напряжения — это системы, обеспечивающие функционирование большей части оборудования станции. Важнейшее значение для сохранения управления при ожидаемых отклонениях от нормального режима эксплуатации, а также для обеспечения энергией, управления и контроля соответствующих функций безопасности станции при возникновении проектных аварий и запроектных условий имеет надежный источник электроснабжения.

2.21. Во время останова часть систем электроснабжения АЭС может отключаться для проведения испытаний или технического обслуживания. Проблемы эксплуатационной устойчивости, надежности и доступности системы электроснабжения при останове станции отличаются от тех, которые необходимо решать во время работы на мощности.

2.22. Требование 4 и пункт 4.1 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласят:

«Во всех состояниях станции должно обеспечиваться выполнение следующих фундаментальных функций безопасности АЭС: i) управление реактивностью, ii) отвод тепла от реактора и бассейна выдержки топлива и iii) локализация радиоактивного материала, защита от излучения и контроль за плановыми радиоактивными выбросами, а также ограничение аварийных радиоактивных выбросов.

4.1. При определении важных для безопасности узлов, необходимых для выполнения фундаментальных функций безопасности, и при выявлении естественных свойств, которые способствуют выполнению фундаментальных функций безопасности или влияют на эти функции во всех состояниях станции, должен использоваться системный подход».

2.23. Следует придерживаться системного подхода для определения конструкций, систем и элементов системы электроснабжения, необходимых для того, чтобы узлы, важные для выполнения фундаментальных функций безопасности, работали от источников электроснабжения соответствующего класса безопасности и надежности.

2.24. «Надежность» означает, что грамотная организация проектирования, испытаний, эксплуатации и технического обслуживания дает уверенность в том, что системы электроснабжения смогут выполнять свои функции с минимальными отклонениями.

2.25. Можно предпринять ряд мер на площадке и за ее пределами для достижения необходимой надежности источников электроснабжения. Такие меры могут включать повышение надежности источника электроснабжения нормальной эксплуатации станции (предпочтительного источника электроснабжения) или подключение к системам электроснабжения других источников энергии в случаях, когда может отсутствовать источник

электрообеспечения нормальной эксплуатации. Сюда может также входить использование специальных источников электрообеспечения для особо важных систем безопасности.

2.26. Составляющими защиты от отказа по общей причине являются ясное понимание событий, которые могут поставить под угрозу системы электрообеспечения, и надежная защита от этих угроз, четко определенные проектные основы, которые регулярно подтверждаются, и достаточная степень неодинаковости источников электрообеспечения.

2.27. Следует тщательно продумать элементы сопряжения системам безопасности и системам более низкого класса безопасности для предотвращения неблагоприятного воздействия на оборудование безопасности от оборудования, не связанного с безопасностью, вследствие нарушений в работе систем электрообеспечения станции.

АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КРИТЕРИЯМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

2.28. Требование 41 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Нарушения в работе электрической сети, включая ожидаемые колебания напряжения и частоты сетевого энергоснабжения, не должны угрожать функциональности узлов АЭС, важных для безопасности».

2.29. При проектировании следует учитывать переходные и квазистационарные изменения напряжения и частоты, которые могут повлиять на системы и компоненты электрообеспечения атомной электростанции.

2.30. Следует разработать такую схему защиты станции и проект станционных компонентов, чтобы возмущения в предпочтительном источнике электрообеспечения не создавали угрозы для требуемой эксплуатации систем надежного электрообеспечения и соединенных с ними потребителей.

2.31. При проведении противоаварийных мероприятий защита оборудования может быть снижена до базового уровня, чтобы можно было сфокусировать внимание на действиях по обеспечению безопасности.

Атомная электростанция как энергогенерирующая установка, подключенная к энергосети

2.32. В соответствии с национальным законодательством, национальными электросетевыми кодексами или двусторонними соглашениями между оператором каждой системы электропередачи и каждой энергогенерирующей установкой проект энергогенерирующей установки следует разрабатывать с учетом необходимости обеспечения высокой надежности эксплуатации энергосети.

2.33. Высокая надежность энергосети необходима для безопасного и надежного электроснабжения атомной электростанции. Оператор системы электропередачи несет ответственность за обеспечение надежного электроснабжения атомной электростанции, а также за передачу ее электроэнергии операторам распределительных сетей.

2.34. Особенности и требования к проектированию атомных электростанций следует учитывать в электросетевых кодексах.

Безопасность персонала и оборудования

2.35. При проектировании систем электроснабжения следует минимизировать риски для персонала и возможности повреждения оборудования из-за воздействия высоких температур, электродуговых разрядов или механических напряжений, вызванных номинальным током, токовыми перегрузками или внутренними механическими нагрузками на оборудование.

2.36. Системы электроснабжения следует проектировать и конструировать таким образом, чтобы они могли выдерживать напряжения, возникновения которых можно ожидать во всех состояниях станции и во всех режимах ее эксплуатации.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

3.1. Требование 18 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Инженерно-технические правила проектирования узлов АЭС, важных для безопасности, должны быть конкретно указаны и должны согласовываться с соответствующими национальными и международными сводами положений и нормами, а также апробированной инженерно-технической практикой при надлежащем учете их значимости для ядерно-энергетических технологий».

3.2. Требование 22 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Все узлы, важные для безопасности, должны быть определены и классифицированы на основе их функции и их значимости с точки зрения безопасности».

3.3. В пункте 5.34 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] отмечается:

«Метод классификации узлов, важных для безопасности, на основе их значимости с точки зрения безопасности прежде всего должен быть основан на детерминистических методах, дополненных при необходимости вероятностными методами, с учетом таких факторов, как:

- a) функция(и) безопасности, которую(ые) выполняет данный узел;
- b) последствия отказа выполнять функцию безопасности;
- c) частота, с которой от данного узла потребуется выполнение функции безопасности;
- d) время после постулируемого исходного события или период, в течение которого от узла потребуется выполнение функции безопасности».

3.4. В пункте 5.36 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] отмечается:

«Оборудование, выполняющее несколько функций, должно быть отнесено к классу безопасности, который соответствует наиболее важной функции, выполняемой этим оборудованием».

3.5. В публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-30 «Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности» [4] содержатся рекомендации и руководящие указания по выполнению требований, установленных в документе SSR-2/1 (Rev. 1) [1], по идентификации конструкций, систем и элементов, важных для безопасности, а также по их классификации на основе выполняемых функций и значимости для безопасности.

3.6. Процесс классификации по безопасности, рекомендованный в SSG-30 [4], согласуется с концепцией глубокоэшелонированной защиты, изложенной в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Рассмотрены функции, выполняемые на разных уровнях глубокоэшелонированной защиты.

3.7. Для атомной электростанции процесс классификации должен в первую очередь охватывать:

- проектные основы станции и ее средства естественной безопасности;
- перечень всех постулируемых исходных событий, как это предусмотрено требованием 16 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Следует учитывать частоту возникновения постулируемых исходных событий, предусмотренную в проектных основах станции.

3.8. При составлении перечня постулируемых исходных событий следует учитывать возможность того, что отказ или ложное срабатывание узла, важного для безопасности, может напрямую привести к постулируемому исходному событию или усугубить последствия какого-либо постулируемого исходного события.

3.9. Следует идентифицировать все функции системы электроснабжения и проектные средства, необходимые для выполнения фундаментальных функций безопасности, определенных в требовании 4 SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в различных состояниях станции, в том числе во всех режимах нормальной эксплуатации.

3.10. Затем следует классифицировать функции системы электроснабжения на основе их значимости для безопасности с учетом следующих трех факторов:

- a) последствий отказа выполнять функцию;
- b) частоты возникновения постулируемого исходного события, для которого предусмотрена функция;

- с) момента после наступления или периода времени после наступления постулируемого исходного события, когда требуется выполнение функции.

3.11. Следует идентифицировать и классифицировать системы и компоненты электроснабжения, выполняющие все функции, отнесенные к той или иной категории безопасности. В первую очередь их следует классифицировать в соответствии с категорией, присвоенной той функции, которую они выполняют.

3.12. Внеплощадочные системы электроснабжения и системы турбогенератора также играют важную роль в обеспечении выполнения фундаментальных функций безопасности, но эти системы не классифицируются по станционной классификации безопасности.

3.13. При присвоении класса безопасности следует учитывать своевременность и надежность, с которой могут быть предприняты альтернативные действия, а также своевременность и надежность, с которой может быть обнаружен и устранен любой отказ в системе электроснабжения.

3.14. В SSG-30 [4] на основе опыта государств рекомендовано выделять три категории безопасности для функций и три класса безопасности для конструкций, систем и элементов. Тем не менее можно использовать большее или меньшее количество категорий и классов.

4. ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

4.1. В требовании 14 и пункте 5.3 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] говорится следующее:

«В проектных основах узлов, важных для безопасности, должны быть указаны требуемые возможности, надежность и функциональность в соответствующих эксплуатационных состояниях, аварийных условиях и условиях, возникающих вследствие внутренних и внешних опасностей, с тем чтобы обеспечить удовлетворение критериев приемлемости в течение срока службы АЭС.

5.3. Проектные основы каждого узла, важного для безопасности, должны систематически обосновываться и документироваться. В документации должна содержаться информация, необходимая эксплуатирующей организации для безопасной эксплуатации станции».

4.2. В требованиях 15–19 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] проработаны конкретные вопросы, которые следует рассматривать при разработке проектных основ системы.

4.3. Проектные основы следует указывать для каждой системы электроснабжения атомной электростанции.

4.4. В проектных основах следует уточнять требуемые функциональные задачи, необходимые характеристики, целевые эксплуатационные показатели, условия эксплуатации и окружающей среды, а также необходимую степень надежности.

4.5. Для каждой системы электроснабжения на станции следует определить диапазоны напряжения и частоты для обеспечения непрерывной работы подключенных потребителей.

4.6. Для каждой системы электроснабжения на станции необходимо определить допустимые диапазоны напряжения и частоты при переходных и квазистационарных режимах для обеспечения непрерывной работы подключенных потребителей.

4.7. Переходные процессы, которые следует учитывать, включают внутренние и внешние события, в том числе события в энергосети, которые описаны в пункте 4.10 (d) (ii).

4.8. В проектных основах следует описать все режимы работы и учесть все возможные события, которые могут повлиять на системы электроснабжения атомной электростанции, в том числе:

- a) симметричные и несимметричные короткие замыкания;
- b) явления субсинхронного резонанса;
- c) пуски крупных двигателей;
- d) кратковременные возмущения в энергосети, такие как коммутационное перенапряжение или удары молний;
- e) переключение батарей конденсаторов;

- f) потеря компонентов системы электропередачи, включая условия одной разомкнутой фазы;
- g) формирование мозаичной энергосети, становящееся причиной качания частоты и колебаний напряжения.

4.9. При проведении крупных замен оборудования или масштабных модификаций систем электроснабжения (внутриплощадочных и внеплощадочных), а также при изменении нагрузки следует подтверждать проектные основы, а также периодически проводить общую оценку, например, в рамках периодической экспертизы безопасности.

4.10. В проектных основах следует дать описание каждой подсистемы систем электроснабжения станции, которые перечислены ниже.

- a) Эксплуатационные состояния станции, при которых требуется данная система:
 - i) к ним относятся эксплуатация станции от пуска до выхода на максимальную мощность, предусмотренную условиями действия лицензии, с максимальной нагрузкой на оборудование собственных нужд, останов станции с работы на полной мощности и безопасный останов после срабатывания аварийной защиты реактора и проектной аварии.
- b) Диапазоны напряжения и частоты для непрерывной эксплуатации:
 - i) эти диапазоны определяют эксплуатационные требования к такому оборудованию, как двигатели, насосы, инверторы, зарядные устройства аккумуляторных батарей и приводы клапанов.
- c) Требования к мощности:
 - i) оборудование, учитываемое в анализах аварий, как правило, определяет уровень мощности. Применительно к электрооборудованию мощность означает, например, одновременный пуск или повторное ускорение компонентов.
- d) Стационарный режим, краткосрочная эксплуатация и переходные условия, в которых могут находиться системы, когда требуется их работа:
 - i) стационарный режим включает, например, следующие условия:
 - диапазоны напряжения и колебания частоты в условиях высокой и низкой нагрузки во всех состояниях станции и при работе на собственные нужды, где это применимо;
 - отклонения напряжения или частоты в энергосети;

- напряжение поддерживающего заряда и напряжение зарядки для систем постоянного тока;
- ii) к переходным состояниям относятся, например:
 - коммутационные перенапряжения;
 - удары молнии;
 - перебои напряжения, вызванные неисправностями электрооборудования на площадке и за ее пределами;
 - просадки и скачки напряжения в связи с потерей нагрузки, пуском двигателей, устранением неисправностей в системе электроснабжения на площадке или энергосети за ее пределами;
 - колебания напряжения и частоты и переходные процессы вследствие неисправностей энергосети (и турбогенератора);
 - гармоники, возникающие из-за коммутационных перенапряжений или работы вращающегося оборудования;
 - неисправности в системе электропередачи или в системе электроснабжения на площадке (все уровни напряжения), устраняемые при помощи защиты первой ступени или резервной защиты;
 - события, связанные с потерей синхронизации между станцией и энергосетью;
 - неисправность или состояние обрыва в одной фазе;
 - неисправности системы возбуждения турбогенератора (высокое и низкое возбуждение);
 - обрывы электропроводников;
 - солнечная активность и геомагнитно индуцированные токи.
- e) Переменные параметры на шинопроводах, подлежащие контролю, такие как напряжение системы, сила тока системы и частота:
 - i) сюда входят переменные, необходимые для мониторинга во время и после аварии.
- f) Условия срабатывания резервных источников питания:
 - i) сюда входят переменные параметры, используемые для инициирования необходимых действий.
- g) Условия окружающей среды и электромагнитные условия, воздействию которых могут подвергаться компоненты и кабели:
 - i) условия окружающей среды включают:
 - нормальные условия;
 - аномальные условия;
 - аварийные условия;
 - условия, вызванные природными явлениями.

- h) Определение всех потребителей с указанием классификации по безопасности и электрических характеристик:
 - i) это включает, при необходимости, входную мощность двигателя при выбеге.
- i) Требуемые эксплуатационные характеристики всех компонентов.
- j) Требования к техническому обслуживанию и испытаниям:
 - i) это включает критерии приемлемости испытаний.
- k) Схемы защиты и согласованность мер защиты:
 - i) в схемах защиты должны учитываться как симметричные, так и несимметричные короткие замыкания. Подробная информация представлена в приложении II.
- l) Критерии приемлемости проекта:
 - i) критерии приемлемости проекта, например, включают:
 - используемые или учитываемые стандарты;
 - требования к проектным характеристикам (например, характеристики независимости, соблюдение критерия единичного отказа и требований неодинаковости).
- m) Цели надежности и доступности систем и основных элементов:
 - i) например, надежность резервных источников питания:
 - пределы надежности и неготовности систем и элементов можно определить с помощью вероятностных критериев, детерминистических критериев (например, соответствие критерию единичного отказа) или обоих типов критериев одновременно.
- n) Напряжение, скорость, время для запуска и перевода нагрузки, а также другие пределы, применимые к резервным источникам питания и их приводным механизмам.
- o) Максимальное время, требуемое для запуска резервных источников питания и перевода нагрузки на них в определенной последовательности:
 - i) оборудование, учитываемое в анализах аварий, как правило, определяет допустимое время запуска.
- p) Необходимые эксплуатационные характеристики резервных источников питания, включая их мощность при работе без нагрузки, при низкой нагрузке, номинальной нагрузке и пусковой нагрузке, а также, в определенных государствах, способность работать в режиме перегрузки в течение требуемых промежутков времени.
- q) Способность резервных источников питания работать при ступенчатом наборе нагрузки во всем диапазоне нагружения:
 - i) способность к ступенчатому нагружению определяет параметры напряжения и частоты, которые должны поддерживаться

резервным источником питания, чтобы характеристики ни одного из потребителей не снизились ниже минимально допустимых даже при колебаниях, вызванных подключением или отключением самого крупного потребителя.

- г) Условия, допускающие отключение или отсоединение источников надежного электроснабжения:
 - і) сюда входит, например, необходимость защиты оборудования от отказов с катастрофическими последствиями.
- с) Минимальное время, в течение которого источники электроснабжения на площадке должны работать независимо от внеплощадочного электроснабжения и без пополнения расходных материалов из-за пределов площадки:
 - і) это учитывается, например, при установлении необходимой емкости аккумуляторных батарей, складских запасов топлива и смазочного масла для аварийных генераторов, а также необходимых складских запасов других расходных материалов, таких как воздушные фильтры.
- т) Подлежащие контролю переменные параметры или их сочетания.
- у) Требуемые функции управления и уточнение режима выполнения действий — автоматического, ручного или автоматического в сочетании с ручным, — а также расположения органов управления.

5. ОБЩИЕ РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1. Системы электроснабжения, важные для безопасности, должны в полной мере отвечать требованиям проектных основ.

Ожидаемые при эксплуатации события, связанные с электричеством

5.2. Системы электроснабжения атомной электростанции должны отвечать всем функциональным требованиям в стационарном режиме, условиях кратковременной эксплуатации и в переходных режимах, определенных в проектных основах.

5.3. События, связанные с электричеством, и внутренние события могут вызывать симметричные и несимметричные возмущения на станции. Такие события могут быть инициированы:

- a) в системе электропередачи с подключенной, отключенной или остановленной станцией или вследствие отключения станции от энергосети из-за ожидаемых отказов или изменений в напряжении и частоте сверх допустимого уровня;
- b) отключением турбогенератора, в результате которого внутривыгодочные системы электроснабжения остаются подключенными к невыгодочным системам электроснабжения или к другим внутривыгодочным системам электроснабжения;
- c) во внутривыгодочных системах электроснабжения вследствие события, связанного с электричеством, такого как запуск двигателя, короткое замыкание фазы на землю или коммутационное перенапряжение.

5.4. Следует оценить воздействие подобных событий на все внутривыгодочные системы электроснабжения (переменного и постоянного тока) (см. рис. 4) и посредством специального анализа подтвердить, что требования по допустимому напряжению и частоте соблюдаются, а система защиты функционирует надлежащим образом.

5.5. В анализе устойчивости системы при переходных процессах в энергосети следует продемонстрировать, что станция способна выдержать и оставаться подключенной к сети при возмущениях, которые не приводят к потере синхронизации генератора с напряжением системы электропередачи (см. рис. 5).

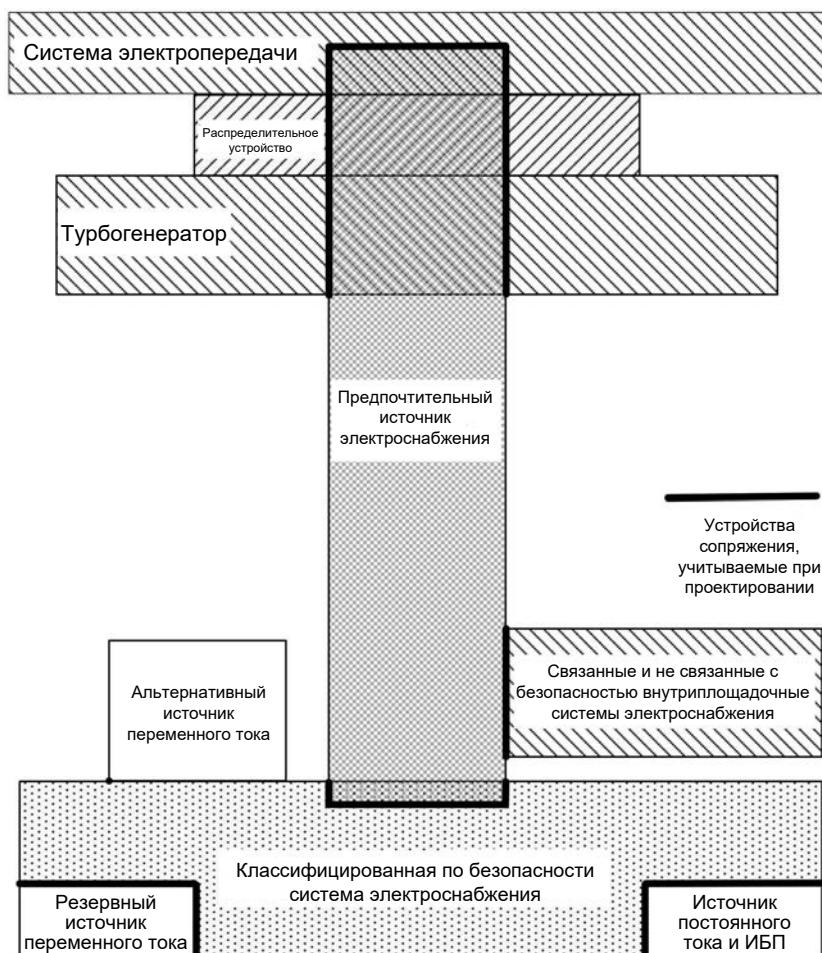
5.6. Оператору энергосети следует определить время устранения отказа электрооборудования.

5.7. Данная способность, которая ожидается от глубокоэшелонированной защиты, обеспечивает функционирование предпочтительного источника электроснабжения.

Обесточивание станции

5.8. Международный опыт эксплуатации показывает, что потеря предпочтительного источника электроснабжения с одновременным отключением турбины при недоступности всех резервных источников

электроснабжения переменного тока является вероятным событием. Такое событие может оказать влияние как на один энергоблок, так и на все энергоблоки, расположенные на одной площадке. Такое событие называется обесточиванием станции, и частота его возникновения должна быть достаточно низкой, чтобы его можно было рассматривать и анализировать в качестве запроектного события. Этот термин не охватывает одновременный отказ системы бесперебойного питания переменного тока или источников



Примечание: ИБП — источник бесперебойного питания.

РИС. 4. Взаимосвязь между предпочтительным источником электроснабжения и другими элементами системы электроснабжения.

питания постоянного тока, а также отказ альтернативных источников питания переменного тока, которые имеют разнообразные конструкции и не восприимчивы к событиям, вызывающим потерю внутриплощадочных и внеплощадочных источников электроснабжения.

5.9. Следует проанализировать способность станции продолжать выполнение функций безопасности и отводить остаточное тепловыделение отработавшего топлива в течение периода, пока станция находится в состоянии обесточивания. В проекте следует предусмотреть соответствующие средства для исключения возможности значительного повреждения топлива в период, пока станция находится в состоянии обесточивания.

5.10. В качестве средства повышения работоспособности систем электроснабжения в условиях обесточивания станции возможна реализация ряда проектных решений. Они включают, например, повышение

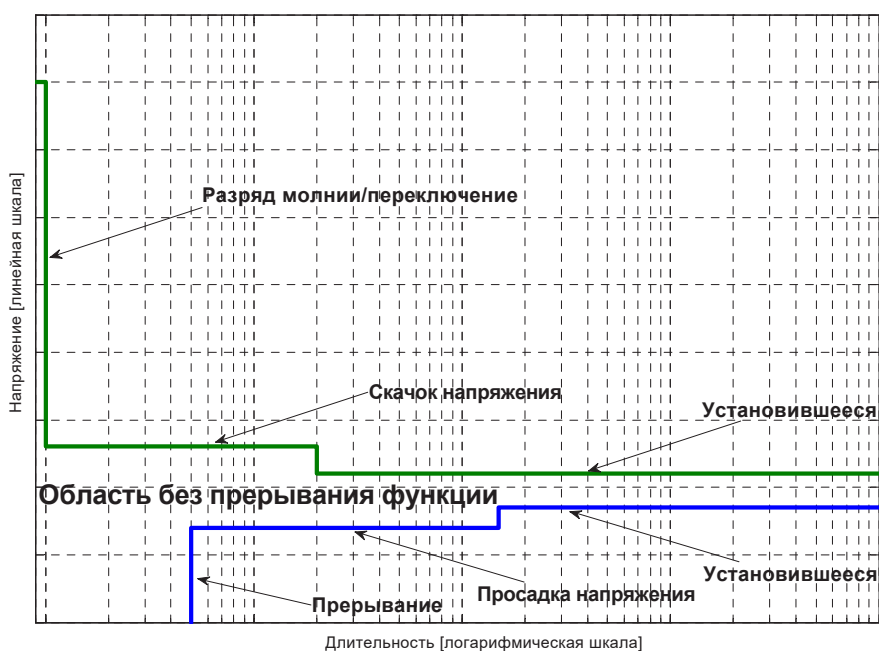


РИС. 5. Скачки и просадки напряжения (примечание: исходные условия могут находиться в любой области в пределах непрерывного диапазона).

емкости аккумуляторных батарей для питания оборудования контроля и управления систем безопасности, а также другого жизненно важного оборудования, использование межблочных соединений или установку альтернативного источника переменного тока, отличного по конструкции и защищенного от опасностей, которые могут ухудшить характеристики источников электроснабжения нормальной эксплуатации и резервного электроснабжения.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Общие положения

5.11. Требование 23 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Надежность узлов, важных для безопасности, должна соответствовать их значимости с точки зрения безопасности».

5.12. При проектировании систем электроснабжения, важных для безопасности, для обеспечения заданной надежности функций безопасности, как правило, используются такие проектные средства, как резервирование, неодинаковость, устойчивость к случайным отказам, независимость оборудования и систем, устойчивость к отказам по общей причине, контролепригодность и ремонтпригодность, отказоустойчивость и выбор высококачественного оборудования.

Резервирование

5.13. Следует обеспечить, чтобы степень резервирования систем электроснабжения, важных для безопасности, соответствовала требованиям надежности, предусмотренным в проектных основах.

5.14. Резервирование важных для безопасности систем электроснабжения, как правило, применяется для достижения целей системы по надежности или соблюдения критерия единичного отказа³. Для достижения наибольшей

³ Единичный отказ — это отказ, приводящий к потере способности системы или компонента выполнять заданную(ые) функцию(и) безопасности и к любому(ым) последующему(им) отказу(ам). Критерий единичного отказа — это критерий (или требование), применяемое к системе, в соответствии с которым она должна выполнять свою задачу при любом единичном отказе (см. пункт 7.25).

эффективности резервирования необходимо также обеспечивать независимость. Резервирование само по себе повышает надежность действий по обеспечению безопасности, но также увеличивает вероятность ложных срабатываний.

5.15. Опыт эксплуатации показывает, что дополнительное резервирование в пределах группы или секции обеспечивает эксплуатационную гибкость и повышенную доступность.

Независимость

5.16. Требование 24 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«При проектировании оборудования должна надлежащим образом учитываться потенциальная возможность отказов по общей причине узлов, важных для безопасности, с тем чтобы определить, каким образом следует применять принципы неодинаковости, резервирования, физического разделения и функциональной независимости для достижения требуемой надежности».

5.17. Требование 21 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Должно предотвращаться взаимовлияние систем безопасности или резервных элементов системы такими средствами, как физическое разделение, электрическая изоляция, функциональная независимость и независимость связи (передачи данных), по мере целесообразности».

5.18. В пункте 5.35 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] отмечается:

«Проектирование должно проводиться таким образом, чтобы предотвращалось любое взаимодействие между узлами, важными для безопасности, и, в частности, чтобы любой отказ узлов, важных для безопасности, в системе, относящейся к более низкому классу безопасности, не распространялся на систему, относящуюся к более высокому классу безопасности».

5.19. Независимость необходима для недопущения того, чтобы отказ, внутренняя или внешняя опасность повлияли на резервные элементы систем безопасности. Кроме того, она предотвращает влияние отказа или опасности на системы, обеспечивающие разные уровни глубокоэшелонированной защиты. К процессам отказа, которые следует учитывать, относятся:

- отказы, возникшие в результате проектных событий;
- подверженность влиянию одних и тех же внутренних или внешних опасностей;
- отказ общих вспомогательных систем;
- электрические соединения между системами или секциями;
- обмен данными между системами или секциями;
- общие ошибки при проектировании, производстве, эксплуатации или техническом обслуживании.

5.20. Узлы систем безопасности должны быть такими, чтобы на них не воздействовали аварии, для реагирования на которые они предназначены.

5.21. Следует в необходимой степени обеспечить независимость систем безопасности от систем, относящихся к менее высокому классу безопасности, чтобы системы безопасности могли выполнять свои функции во время и после любых событий, требующих выполнения этих функций.

5.22. Резервные секции групп безопасности должны быть независимы друг от друга, чтобы данная группа безопасности могла выполнять свои функции безопасности во время и после любых событий, требующих выполнения этих функций.

5.23. Отказ одной части конструкций, систем и элементов электрооборудования не должен приводить к неработоспособности других частей в тот момент, когда требуется их функционирование.

5.24. Функциональный отказ вспомогательных средств систем безопасности не должен ставить под угрозу независимость резервных частей систем безопасности друг от друга и независимость систем безопасности от систем более низкого класса безопасности. Например, если отнести какую-либо вспомогательную функцию системы безопасности, например вентиляцию помещений, к той же секции, что и систему безопасности, которую она обслуживает, это позволит предотвратить потерю механической функции в одной секции, которая вызовет потерю электрической функции в другой секции.

5.25. Если между системам, имеющими разную значимость для безопасности, используются изолирующие устройства, они должны входить в состав системы более высокого класса безопасности.

5.26. Следует обосновать достаточность проектных средств, обеспечивающих выполнение требований независимости.

Физическое разделение

5.27. Физическое разделение:

- a) обеспечивает защиту от отказов по общей причине, вызванных внутренними опасностями. К числу внутренних опасностей, требующих внимания, относятся:
 - опасности, прямо или косвенно связанные с источниками воды, такие как попадание брызг и просачивание через крыши, стены, кабельные каналы и кабелепроводы;
 - пожар;
 - летящие предметы;
 - струи пара;
 - биение труб;
 - химические взрывы;
 - затопление;
 - отказ оборудования, расположенного в непосредственной близости;
- b) может использоваться для защиты от отказа по общей причине в нормальных, аномальных или аварийных условиях, из-за последствий, вызванных проектными авариями или внутренними и внешними опасностями. Кроме того, для защиты от воздействия аварий и внутренних или внешних опасностей может использоваться экологическая, сейсмическая и электромагнитная аттестация — сама по себе или в сочетании с физическим разделением;
- c) может снизить вероятность отказов по общей причине в результате событий, имеющих локализованные последствия (например, падения легкомоторного самолета);
- d) снижает вероятность возникновения случайных ошибок при эксплуатации или техническом обслуживании резервного оборудования.

5.28. Физическое разделение обеспечивается пространственным разнесением, барьерами или сочетанием того и другого.

5.29. Руководящие указания по защите от пожаров и других внутренних опасностей содержатся в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.7 «Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций» [5] и № NS-G-1.11 «Protection Against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants» («Защита от внутренних опасностей, помимо пожаров и взрывов, при проектировании атомных электростанций») [6].

5.30. Некоторые зоны, которые могут представлять трудности из-за близкого расположения оборудования или проводки:

- проходки в гермооболочке;
- узлы управления электродвигателями,
- места расположения распределительных устройств;
- помещения для разводки кабелей;
- аппаратные;
- блочный пункт управления и другие пункты управления;
- компьютерная система управления технологическими процессами станции.

Электрическая изоляция

5.31. Электрическая изоляция используется для предотвращения воздействия электрических отказов внутри одной системы на соединенные с ней системы. Электрическая изоляция контролирует или предотвращает нежелательные взаимодействия между оборудованием и компонентами, вызванные такими факторами, как электромагнитные помехи, электростатическая наводка, короткие замыкания, обрывы в цепи, заземление, включение максимально возможного напряжения (переменного или постоянного тока).

5.32. Насколько это практически осуществимо, следует исключить подачу электроэнергии потребителям, не важным для безопасности, от систем надежного электроснабжения.

5.33. Если подача электроэнергии потребителям, не важным для безопасности, от систем надежного электроснабжения необходима, следует обеспечить изоляцию таких потребителей с помощью изолирующих устройств, классифицированных по безопасности.

5.34. Примером предпочтительного изолирующего устройства является классифицированный по безопасности выключатель, который автоматически отключается при подаче аварийного сигнала или сигнала потери напряжения, генерируемого в той же секции безопасности, в которой находится изолирующее устройство.

5.35. Резервные секции классифицированных по безопасности систем электроснабжения не следует соединять друг с другом.

5.36. Временное подключение между резервными секциями во время эксплуатации возможно, если оценка безопасности подтвердит, что надежность электроснабжения значительно повысится и что будет обеспечена достаточная независимость резервных секций.

5.37. Подключения между резервными секциями могут проводиться во время останова, если данные оценки безопасности подтвердят следующее:

- a) оснащение межсекционных подключений блокировками, которые невозможно отключить простой командой переключения;
- b) приемлемость влияния таких подключений на надежность функций безопасности станции и на их уязвимость перед отказами по общей причине.

5.38. Кроме того, такие межсекционные подключения можно использовать в условиях обесточивания станции.

5.39. Примерами средств электрической изоляции могут служить автоматические выключатели, реле, электронные изолирующие устройства, оптические изолирующие устройства (в том числе оптоволоконные), экранирующая оболочка кабелей или компонентов, дистанцирующее разделение, внутренние механические конструкции или комбинация вышеперечисленных средств.

5.40. Аттестация на электромагнитную совместимость дополняет электрическую изоляцию благодаря защите от электромагнитных помех и электростатической наводки.

Взаимосвязанные схемы

5.41. Если обеспечение надлежащего разделения между схемой системы безопасности и схемой, относящейся к более низкому классу безопасности, или их изоляции от электрических отказов нецелесообразно, схему более низкого класса безопасности (или связанную с ней схему) следует:

- a) проанализировать или протестировать, чтобы удостовериться в том, что это соединение не ведет к недопустимому ухудшению состояния классифицированных по безопасности схем, с которыми она связана;
- b) идентифицировать как часть секции безопасности, с которой она связана;
- c) электрически отделить от других компонентов таким же образом, каким произведено отделение схем системы безопасности, к которой она подключена.

Неодинаковость

5.42. Следует обеспечить питание систем надежного электроснабжения от неодинаковых источников.

5.43. Неодинаковость источников питания обычно является изначальным свойством архитектурного проекта системы электроснабжения.

5.44. Как правило, потребители системы надежного электроснабжения могут получать электроэнергию от:

- a) внеплощадочной системы электроснабжения через предпочтительный источник электроснабжения;
- b) турбогенератора, являющегося источником электроснабжения нормальной эксплуатации или источником электроснабжения собственных нужд;
- c) источника резервного электроснабжения, используемого для питания систем надежного электроснабжения при потере внешнего источника;
- d) источника альтернативного электроснабжения переменного тока в условиях обесточивания станции.

5.45. Подача электроэнергии потребителям постоянного тока может осуществляться от аккумуляторных батарей или (через выпрямители) от любого из вышеперечисленных источников.

5.46. Системы бесперебойного питания переменного тока могут запитываться от аккумуляторных батарей или зарядных устройств (через инверторы), а также от шин переменного тока систем безопасности с использованием шунтирующих переключателей.

5.47. Если проектные основы требуют неодинаковости электронных устройств системы электроснабжения, необходимо следовать руководящим указаниям из SSG-39 [2].

5.48. Неодинаковость источников электроснабжения конкретных потребителей, например систем контроля и управления, часто улучшает доступность всей системы.

5.49. Если для выполнения заданной функции безопасности в соответствии с принципом неодинаковости предусмотрены неэлектрические энергетические системы, то следует обеспечить, чтобы связанные с ними источники питания, а также системы контроля и управления были независимыми от системы, неодинаковость в сравнении с которой они обеспечивают.

5.50. Данная рекомендация относится как к многочисленным неэлектрическим энергетическим системам, являющимся неодинаковыми по своей сути, так и к неэлектрическим энергетическим системам (таким как паровые или моторные насосы), обеспечивающим неодинаковость в сравнении с системами электроснабжения.

5.51. Наряду с физическим разделением и электрической изоляцией неодинаковость может потребоваться для повышения независимости между резервными системами или между системами, обеспечивающими разные уровни глубоководной защиты. Это может достигаться посредством использования неодинаковых источников электроснабжения или подключения к источникам бесперебойного питания.

Отказы по общей причине

5.52. Требование 24 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«При проектировании оборудования должна надлежащим образом учитываться потенциальная возможность отказов по общей причине узлов, важных для безопасности, с тем чтобы определить,

каким образом следует применять принципы неодинаковости, резервирования, физического разделения и функциональной независимости для достижения требуемой надежности».

5.53. При проектировании, техническом обслуживании, испытаниях и эксплуатации систем надежного электроснабжения и их вспомогательных систем необходимо учитывать возможность отказов по общей причине, из-за которых системы надежного электроснабжения могут оказаться не готовы выполнить свои функции безопасности, когда в этом возникнет необходимость.

5.54. Для защиты от вероятных отказов по общей причине, возникающих в оборудовании самой системы безопасности, в результате коммутационных перенапряжений или колебаний напряжения/частоты в подключенных к ней системах либо вследствие вмешательства человека (например, во время эксплуатации и технического обслуживания), следует применять принципы неодинаковости и независимости (физического разделения и функциональной изоляции).

5.55. Использование элементов независимости и неодинаковости помогает обеспечить — но не гарантирует полностью, — что отказы по общей причине не станут основной причиной недоступности системы.

5.56. Поскольку атомная электростанция, как правило, подключена только к одной системе электропередачи, одно событие в энергосети может повлиять на резервные части систем надежного электроснабжения. Если атомная электростанция оснащена двумя турбинами и двумя генераторами, вероятность отказа по общей причине снижается. Если резервные системы надежного электроснабжения подключены к независимым источникам в энергосети, вероятность отказа по общей причине также снижается.

5.57. Опыт эксплуатации в части событий, связанных с изменениями напряжения при переходных процессах как на внеплощадочных, так и на внутриплощадочных источниках электроснабжения, говорит о необходимости повышенного внимания к проектированию систем электроснабжения в целях минимизации риска возникновения отказов по общей причине. Желательно использовать принцип «невмешательства», понимаемый как последовательное применение предусмотренных проектом мероприятий для минимизации влияния переходных процессов (см. рис. 5).

5.58. Из-за больших колебаний напряжения, частоты и фазового угла, которые могут происходить на генерирующей установке, опыт эксплуатации, полученный в промышленности, имеет ограниченную ценность при поиске уязвимостей к отказу по общей причине, возникающих на предпочтительном источнике электроснабжения.

5.59. Главными средствами защиты от отказов по общей причине, возникающих в энергосети, являются:

- a) комплексные проектные основы и рекомендации, определяющие все возможные события, которые могут создать угрозу для систем надежного электроснабжения;
- b) доказанная способность систем надежного электроснабжения сохранять работоспособность при наступлении этих событий благодаря изначальным характеристикам или за счет использования релейной защиты;
- c) доказанная способность не передавать колебания напряжения и частоты на шины, запитанные от выпрямителей и инверторов.

5.60. Если после события, заканчивающегося потерей электроснабжения от внеплощадочных источников, электроэнергия на системы надежного электроснабжения не начинает поступать от турбогенератора(ов), должны включиться резервные источники электроснабжения и подать электричество на системы надежного электроснабжения. Даже если системы надежного электроснабжения разделены на разные секции, последовательность запуска резервных источников электроснабжения может привести к отказу по общей причине, поскольку для запуска всех секций используются одни и те же физические свойства.

5.61. Главными средствами защиты резервных источников электроснабжения от отказов по общей причине являются:

- a) комплексные проектные основы и рекомендации, определяющие все возможные события, которые могут создать угрозу для управления, запуска и эксплуатации резервных источников электроснабжения;
- b) доказанная способность резервных источников электроснабжения сохранять работоспособность при наступлении этих событий благодаря изначальным характеристикам или за счет использования релейной защиты (сюда также относится работа в переходных режимах во время подачи нагрузки на резервные источники электроснабжения);

- с) надлежащее резервирование управляющих цепей и оборудования для обеспечения надежности при запуске и долговечности при эксплуатации, а также для предотвращения ненужных отключений.

5.62. Чтобы свести к минимуму риски отказа по общей причине программируемых устройств, следует использовать соответствующие конструктивные особенности оборудования систем контроля и управления в соответствии с рекомендациями, изложенными в SSG-39 [2].

Виды отказов

5.63. Требование 26 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Принцип отказобезопасного проектирования в надлежащих случаях должен применяться при проектировании систем и элементов, важных для безопасности».

5.64. Следует обеспечить, чтобы виды отказов электрических компонентов, важных для безопасности, были известны и задокументированы.

5.65. Знание видов отказов компонентов необходимо для применения концепции отказоустойчивости.

5.66. Следует обеспечить, чтобы отказы электрических компонентов, важных для безопасности, обнаруживались при проведении периодических испытаний или выявлялись с помощью аварийной сигнализации или индикации нарушений в работе.

5.67. Следует применять проектные решения, обеспечивающие самостоятельное выявление отказов, за исключением случаев, когда использование подобных проектных решений может вызвать небезопасное состояние или привести к ложному срабатыванию систем безопасности.

Координация мер защиты

5.68. Следует обеспечить, чтобы схема электрической защиты в достаточной степени предотвращала отказы, вызываемые отключением функций безопасности.

5.69. Следует обеспечить, чтобы защитные действия, выполняемые каждой группой потребителей, были независимыми от защитных действий, выполняемых резервной группой потребителей.

5.70. Следует использовать защитные реле для быстрого отключения элементов системы электроснабжения при возникновении нарушений условий нормальной эксплуатации, которые могут вызвать ухудшение характеристик или отказ работающего оборудования.

5.71. Для минимизации последствий условий отказа следует использовать выборочное отключение выключателей.

5.72. Следует обеспечить, чтобы схема защиты была способна выполнять следующее:

- a) приведение в действие необходимых устройств при обнаружении неприемлемых условий для снижения степени серьезности и масштабов неисправностей системы электроснабжения, повреждения оборудования и потенциальных угроз для персонала и имущества;
- b) мониторинг подключенного предпочтительного источника электроснабжения с возможностью автоматического или ручного переключения на альтернативный источник электроснабжения. В качестве альтернативных источников в данном случае могут выступать различные внеплощадочные источники или резервные источники электроснабжения переменного тока. Быстрые переключения между шинами с использованием оптимальных технологий и надлежащих блокировок с защитными схемами могут снизить нагрузки на работающее оборудование;
- c) индикацию и идентификацию защитных операций;
- d) контроль наличия электропитания в устройствах управления системами защиты;
- e) обеспечение отключения от источников питания только неисправного оборудования.

5.73. Как правило, схема защиты, отключающая только неисправное оборудование, обладает следующими характеристиками:

- a) защитные устройства рассчитаны на выборочное срабатывание при коротких замыканиях и перегрузках во всех планируемых условиях подключения систем электроснабжения;

- b) защитные устройства устроены таким образом, что при повреждающих токовых нагрузках автоматический выключатель срабатывает с достаточно высокой скоростью для того, чтобы избежать опасностей и минимизировать помехи;
- c) распределительное устройство станции оснащено надежной защитой от дуговых разрядов и прочими необходимыми средствами защиты, чтобы свести к минимуму возможность повреждения распределительного устройства вследствие потенциальных отказов, связанных с дуговыми разрядами, а также обеспечить безопасность станции и ее эксплуатационного и ремонтно-технического персонала;
- d) отдельные защитные устройства, установленные для защиты компонентов во время испытаний, спроектированы и задействуются таким образом, чтобы их работа не ставила под угрозу работоспособность системы при возникновении реального события.

5.74. В схеме защиты следует учитывать токи повторного ускорения после кратковременных просадок и прерываний напряжения, а также переключений на шинах.

5.75. При проектировании защитных устройств следует учитывать как симметричные, так и несимметричные короткие замыкания.

5.76. К числу неисправностей, которые необходимо учитывать, относятся все возможные типы последовательных и шунтирующих замыканий, включая такие события, как потеря фазы и замыкание на землю в системах, не подключенных к заземлению. Координация мер защиты также подразумевает учет принципов измерения.

5.77. В целях верификации выполненного анализа и координации мер защиты желательно предусмотреть средства для фиксации переходных процессов в ходе событий.

5.78. Цифровые защитные устройства следует верифицировать на предмет их использования в соответствии с функцией безопасности, которую они призваны выполнять.

5.79. Кроме того, следует обеспечить соответствие конструкции защитных устройств систем электроснабжения и компонентов атомных электростанций национальным стандартам, применяемым в области

безопасности электрооборудования и электроустановок, а также другим соответствующим нормативно-техническим документам по электрооборудованию и электроустановкам.

Подтверждение надежности

5.80. Следует проводить систематическую оценку всех систем, важных для безопасности, на предмет их соответствия требованиям надежности, предусмотренным в проектных основах.

5.81. Использование программного обеспечения или сложных многоэлементных логических модулей может создать сложности при подтверждении надежности и чувствительности к отказам по общей причине. Таким образом, для подтверждения надежности могут потребоваться гарантии отсутствия ошибок в процессе проектирования и реализации. Рекомендации и руководящие указания по данному вопросу содержатся в SSG-39 [2].

5.82. При определении готовности систем к эксплуатации следует учитывать испытательные стенды, входящие в состав системы безопасности.

НОМИНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

5.83. Следует обеспечить, чтобы все оборудование, используемое в системах электроснабжения станции, имело достаточный запас по эксплуатационным параметрам относительно своих номинальных характеристик.

5.84. Для подтверждения расчетных запасов следует выполнить анализ и моделирование, используя консервативные допущения и аттестованные методы.

5.85. Достаточность запаса по номинальным параметрам оборудования следует регулярно подтверждать как минимум при замене основного оборудования, проведении модификаций на станции и периодической экспертизе безопасности.

5.86. В характеристиках электрооборудования следует указывать достаточный расчетный запас, чтобы будущая модернизация и модификация станции выполнялась без превышения номинальных параметров оборудования.

Нагрузки двигателей

Общие положения

5.87. Двигатели узлов, важных для безопасности, следует проектировать с предельным перегрузочным моментом, достаточно высоким для пуска двигателя при минимально допустимом расчетном напряжении, указанном в проектных основах системы электроснабжения.

5.88. Следует обеспечить, чтобы двигатели и другие устройства узлов, важных для безопасности, подключенные к системе электроснабжения, выдерживали повышенное и пониженное напряжение, а также повышенную и пониженную частоту, которые могут возникать в результате соответствующего стационарного режима, кратковременной эксплуатации и переходных условий, указанных в проектных основах.

5.89. Следует обеспечить, чтобы нагрузки, используемые для определения номинальных характеристик двигателей и проектирования компонентов систем надежного электроснабжения, а также для настроек устройств защиты от перегрузки, отражали фактические нагрузки двигателя и, где применимо, крутящий момент во время выбега.

5.90. При проектировании приводов клапанов следует обеспечить, чтобы они срабатывали на закрытие с достаточным крутящим моментом при низком напряжении и низкой частоте, не превышали максимально допустимое значение крутящего момента при высоком напряжении и высокой частоте, а также давали возможность открывать клапаны при низком напряжении.

5.91. Для исключения нежелательных отключений в процессе эксплуатации следует обеспечить согласованность работы защитных устройств электроприводов с уставками моментной муфты.

Проектирование для работы в режиме перегрузки

5.92. При проектировании электрооборудования и кабелей следует предусмотреть возможность их работы с перегрузкой без превышения номинальных параметров.

5.93. В некоторых ситуациях может возникнуть необходимость кратковременной эксплуатации оборудования в условиях перегрузки. Как правило, такие ситуации возникают при пуске больших насосов с минимальным противодавлением, что приводит к работе в условиях выбега. Например, для уставок устройств защиты электрической цепи можно задать более высокие значения по сравнению с уровнями, необходимыми для защиты оборудования от повреждения вследствие непрерывных перегрузок.

5.94. Следует обеспечить защиту кабелей от перегрузок соразмерно их способности выдерживать постоянные токовые нагрузки.

5.95. Если допускается эксплуатация оборудования в условиях перегрузки, эксплуатация в таких условиях не должна оказывать неблагоприятное воздействие на другие цепи или сопряженное оборудование.

5.96. В обоснование безопасности эксплуатации в условиях аварий не следует включать непрерывную работу оборудования систем безопасности в условиях перегрузок с последующим риском его повреждения.

5.97. Следует обеспечить индикацию постоянной работы под нагрузкой, превышающей номинальные значения, на блочном пункте управления.

5.98. Если заданы более высокие значения уставок устройств защиты электрической цепи, появление перегрузки в системе в условиях нормальной эксплуатации может остаться незамеченным, что, в свою очередь, может ускорить выход из строя оборудования, необходимого в конкретной ситуации.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, КАБЕЛИ И КАБЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ

Общие положения

5.99. В настоящем документе под электрооборудованием понимаются распределительные устройства, узлы управления электродвигателями, трансформаторы и кабельные системы.

5.100. Электрооборудование следует выбирать, оценивать и аттестовывать для работы в соответствующих условиях эксплуатации и окружающей среды.

5.101. Для предотвращения распространения пожаров следует предусмотреть достаточную огнестойкость электрооборудования.

5.102. Вопросы пожарной безопасности рассмотрены в NS-G-1.7 [5].

Номинальные характеристики и выбор параметров

5.103. Электрооборудование должно быть рассчитано на номинальное напряжение, превышающее номинальное системное напряжение (обычно 110% от номинального значения), и на номинальный импульс, превышающий любое напряжение в переходном режиме, в котором может работать оборудование.

5.104. Выбирать параметры электрооборудования следует таким образом, чтобы:

- a) обеспечить требуемую передачу тока по основным и групповым цепям при допустимых изменениях напряжения;
- b) обеспечить нужды потребителей без превышения номинальной температуры;
- c) обеспечить устойчивость к коротким замыканиям (например, к воздействию тока короткого замыкания в течение срока, заданного для устранения неисправности);
- d) обеспечить устойчивость к пиковым значениям тока без превышения пределов механической прочности.

5.105. Факторы, которые следует учитывать при расчете температур проводников, включают:

- a) максимальные температуры окружающей среды;
- b) нормальные значения тока и значения тока коротких замыканий;
- c) коэффициенты использования установленной мощности;
- d) расположение других кабелей в тех же или соседних кабельных каналах;
- e) воздействие кронштейнов для укладки кабелей, стеновых проходок, проходок в перекрытиях, противопожарных преград и огнестойких покрытий на нагревание кабелей.

Монтаж

5.106. Шины, кабельные каналы (т.е. лотки или кабелепроводы) и их опоры следует проектировать с учетом необходимости выдерживать, с соответствующим запасом прочности, механические нагрузки, создаваемые кабелями и кабельной арматурой.

5.107. Следует обеспечить надлежащую защиту шин, шкафов и кабелей систем безопасности от опасностей, которые могут возникнуть в результате постулируемых исходных событий.

5.108. К опасностям, которым могут подвергаться шины, шкафы и кабели, относятся пожары, отказ или неисправность гидравлических систем, а также механических и конструкционных компонентов.

5.109. В целом в проекте следует предусмотреть прокладку или защиту кабелей, входящих в состав систем безопасности, таким образом, чтобы внешние события, например пожар, отказ вращающегося механического оборудования или вспомогательных систем, не причинили им повреждения сверх того минимума, который установлен в отчете по обоснованию безопасности (обычно одна секция любой группы безопасности). Отказ механического оборудования включает в себя такие возможные эффекты, как биение труб, ударное воздействие струи и возникновение летящих предметов в результате отказа вращающегося оборудования или других высокоэнергетических систем. Рекомендации и руководящие указания по защите от отказов механического оборудования приведены в NS-G-1.7 [5].

5.110. На кабельные каналы и кабели следует нанести стойкую маркировку, указывающую на секции, к которым они относятся.

5.111. Принято наносить стойкую маркировку на каждом конце кабельных каналов и кабелей, а также через равные интервалы по их длине (за исключением кабелей, расположенных в закрытых кабельных каналах). Как правило, в маркировке кабельных каналов также указывается класс напряжения кабеля.

5.112. Чтобы обеспечить монтаж кабелей в предназначенные именно для них кабельные каналы, при прокладке следует нанести на них надлежащую маркировку.

5.113. По общему правилу следует запрещать использование кабельных стыковок в кабельных каналах.

5.114. Кабельные стыковки можно применять для подключения полевых кабелей к оборудованию при условии, что эти кабельные стыковки аттестованы для такого использования. Подобные способы подключения могут потребоваться для кабелей и оборудования систем безопасности в гермозоне для защиты от высоких токов утечки, которые могут быть вызваны воздействием окружающей среды при возникновении аварийных условий.

Разделение кабелей

5.115. При помощи соответствующих методов (например, разнесения или установки физического барьера) следует обеспечить физическое разделение:

- a) кабелей, отнесенных к тому или иному классу безопасности, и кабелей, не классифицированных по безопасности;
- b) кабелей, относящихся к разным секциям систем безопасности;
- c) кабелей разных классов напряжения.

5.116. Разделение по классам безопасности имеет целью предотвращение повреждения кабелей, отнесенных к тому или иному классу безопасности, вследствие отказов в системах или кабелях, не классифицированных по безопасности. Разделение кабелей из разных секций систем безопасности имеет целью предотвращения воздействия одной опасности на более чем один резервный элемент в системе безопасности. Разделение по классам напряжения призвано не допустить того, чтобы электромагнитные помехи, возникающие в высоковольтных цепях, оказали недопустимое влияние на цепи с меньшим напряжением.

5.117. Следует обеспечить физическое разделение кабелей следующих классов напряжения:

- a) кабелей систем контроля и управления;
- b) низковольтных силовых кабелей (1 кВ и ниже);
- c) силовых кабелей среднего напряжения (от 1 кВ до 35 кВ);
- d) высоковольтных силовых кабелей (более 35 кВ).

5.118. Во внутриплощадочных системах электроснабжения атомных электростанций высоковольтные силовые кабели обычно не используются.

5.119. В одном кабельном канале (т.е. в лотке лестничного типа, лотке или кабелепроводе) следует размещать кабели одного и того же класса напряжения.

5.120. Следует обеспечить разделение кабелей и кабельных каналов разных классов напряжения в соответствии с их классом посредством пространственного разнесения или при помощи барьеров, предотвращающих неблагоприятное воздействие одного класса на другой.

5.121. Пример приемлемого разделительного барьера — заземленный металлический кабелепровод.

СПОСОБЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Общие положения

5.122. Заземление служит для обеспечения как электрической безопасности, так и функциональности систем электроснабжения и систем контроля и управления. Подробные руководящие указания по проектированию заземления содержатся в национальных и международных стандартах.

5.123. На любой электростанции, как правило, существуют четыре концептуально идентифицируемые, но необязательно физически разделенные системы заземления: для безопасности персонала, для защиты от ударов молний, для систем электроснабжения и для систем контроля и управления, включая заземление цепей передачи сигналов.

5.124. Все системы заземления следует подключать к единой сети заземления.

5.125. Следует обеспечить, чтобы значение сопротивления заземления учитывало:

- a) способность выдерживать ток короткого замыкания оборудования;

- б) требования электрической безопасности, т.е. допустимые значения напряжения при касании земли обеими ногами и напряжения при прикосновении к предметам при предполагаемом ударе молнии или токе короткого замыкания на землю.

5.126. В международных технических стандартах описан ряд решений по заземлению систем контроля и управления. Обычно на электростанциях используется один из двух подходов к заземлению систем контроля и управления: заземление в одной точке или многоточечное заземление. Предпочтительное решение зависит от особенностей проекта.

5.127. Следует обосновать используемый подход к заземлению и согласовать его с общими положениями проекта по электромагнитной совместимости.

Электробезопасность

5.128. При проектировании, монтаже и техническом обслуживании всей системы заземления следует обеспечить, чтобы она эффективно защищала людей от причинения вреда здоровью, а здания и оборудование, а также системы электроснабжения, контроля и управления — от повреждений.

5.129. Если заземление не мешает нормальной работе оборудования и аппаратуры, их металлические каркасы следует заземлять.

5.130. Если каркасы не заземлены, следует предпринять дополнительные меры по обеспечению безопасности.

5.131. При проектировании систем заземления систему электроснабжения следует рассматривать как единое целое, поскольку недостаточное заземление даже одной части может оказать влияние на всю систему.

Функциональность

5.132. При заземлении систем переменного тока среднего напряжения следует отдавать предпочтение высокоомному заземлению.

5.133. Высокоомное заземление ограничивает токи короткого замыкания и дает возможность продолжать эксплуатацию подвергнувшегося воздействию оборудования.

5.134. При наличии обоснования можно использовать и другие решения по обеспечению заземления, например системы с глухо-заземленной или изолированной нейтралью.

5.135. При применении высокоомных систем заземления следует проверить систему электроснабжения на наличие замыканий на землю на каждом уровне напряжения, что дает возможность легко определить местонахождение неисправности.

5.136. Обнаружение низкого полного сопротивления на землю должно вызывать только срабатывание сигнализации, не препятствующей выполнению оборудованием своих функций.

5.137. При обнаружении множественных коротких замыканий защитные схемы могут отключить оборудование.

МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

5.138. Следует предусмотреть меры к тому, чтобы не допустить прекращения выполнения системами электроснабжения и системами контроля и управления требуемых функций безопасности из-за удара молнии.

5.139. Для достижения этой цели можно использовать системы внешней или внутренней защиты. Обычно необходимо сочетание обоих методов.

5.140. Как правило, для обеспечения внешней защиты используют молниеотводы или клетку Фарадея, состоящую из металлических компонентов здания, которые защищают здание и находящееся в нем оборудование от воздействия удара молнии. Внутренняя защита может предусматривать специальное электромагнитное экранирование помещений в целях создания среды, защищенной от электромагнитных опасностей.

5.141. К средствам внутренней молниезащиты обычно относятся экраны и разрядники для защиты как от высокого наведенного напряжения, вызываемого током молнии, так и от высокого переходного напряжения. Причиной формирования высокого переходного напряжения является разность потенциалов между землей и компонентами внешней системы молниезащиты и подключенной к ней системы заземления.

5.142. Для защиты систем надежного электроснабжения от наведенных напряжений классифицированные по безопасности кабельные каналы и кабели не следует прокладывать вблизи внешних стен зданий.

5.143. Заземление внешней молниезащиты следует устраивать таким образом, чтобы ток от удара молнии отводился на землю за пределами здания.

5.144. Заземление внутренней защиты следует подключать к остальному заземлению системы молниезащиты таким образом, чтобы защитить персонал и оборудование от эффектов, связанных с возникновением значительных переходных потенциалов.

5.145. Подключения систем молниезащиты на землю следует прокладывать таким образом, чтобы воздействия ударов молний не создавали угрозу ни функциям безопасности систем надежного электроснабжения, ни заземлению молниезащиты.

5.146. Заземление станции может быть дополнено специальными заземляющими соединениями.

5.147. По общему правилу электроснабжение сооружений, не являющихся неотъемлемой частью станции, например складов, административных помещений и мастерских, где работает ремонтно-технический и вспомогательный персонал, не следует осуществлять от электrorаспределительных сетей станции.

5.148. Если для подачи электроэнергии на вспомогательные здания используются станционные шины, следует предпринять надлежащие меры к тому, чтобы исключить неблагоприятное воздействие на системы электроснабжения станции электрических шумов и колебаний напряжения, создаваемых оборудованием, расположенным в этих зданиях.

5.149. Источники питания систем управления и контроля не следует размещать за пределами станции, чтобы минимизировать риск нарушений в их работе вследствие индукционных или иных воздействий.

5.150. Подключение к другим зданиям — с надлежащей защитой, например заземленными стальными стенами для защиты от наведенного напряжения и роста разности потенциалов между контуром заземления и удаленной точкой земли вследствие удара молнии — может быть обосновано, если аналогичным образом защищена и кабельная трасса.

5.151. Чтобы не допускать превышения допустимых пределов напряжения, установленных для оборудования или его изоляции, следует предусмотреть установку ограничителей скачков напряжения или разрядников.

5.152. Импульсное перенапряжение может быть вызвано разрядами молнии, короткими замыканиями в электрической цепи или коммутационными явлениями. Могут потребоваться ограничители для разных уровней напряжения.

5.153. Коммутационные операции, выпрямители, инверторы и вращающееся оборудование могут генерировать гармоники и электрические шумы, способные повредить оборудование, рассчитанное на работу на номинальной частоте и напряжении. Для обеспечения надежной работы оборудования, чувствительного к электрическим шумам в системе электроснабжения, может потребоваться дополнительное оборудование для фильтрации или подавления электрических шумов.

АТТЕСТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Общие положения

5.154. Требование 30 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Должна осуществляться программа аттестации оборудования для подтверждения того, что узлы АЭС, важные для безопасности, будут способны выполнять предписанные им функции в случае необходимости и в преобладающих условиях окружающей среды в течение всего проектного срока службы этих узлов, при этом надлежащим образом должно быть учтено состояние станции при проведении технического обслуживания и испытаний».

5.155. Следует проводить аттестацию всех систем и компонентов электроснабжения, важных для безопасности, на предмет выполнения ими заданных функций в течение всего срока службы.

5.156. Аттестация должна давать уверенность, соизмеримую с классом безопасности системы или компонента.

5.157. В программе(ах) аттестации следует охватить все аспекты, влияющие на годность системы или компонента для выполнения заданных функций, важных для безопасности, в том числе:

- a) уместность и правильность функций и характеристик;
- b) аттестация компонентов для работы в условиях окружающей среды;
- c) сейсмическая аттестация компонентов;
- d) электромагнитная аттестация.

5.158. Аттестацию следует проводить при помощи надлежащей комбинации методов, включая, к примеру:

- a) использование инженерно-конструкторских и производственных процессов в соответствии с общепризнанными стандартами;
- b) демонстрацию надежности;
- c) опыт аналогичного использования в прошлом;
- d) типовые испытания;
- e) испытания поставляемого оборудования;
- f) анализ для экстраполяции результатов испытаний или опыта эксплуатации, полученных в сопоставимых условиях.

5.159. Как правило, в одновременном применении всех упомянутых методов нет необходимости. Конкретная комбинация методов зависит от рассматриваемой системы или компонента. Например, при аттестации готовых узлов может возникнуть необходимость уделить более пристальное внимание прошлому опыту и анализу, чтобы восполнить нехватку полностью задокументированных результатов верификации и валидации процессов проектирования и изготовления.

5.160. Следует обосновывать и документировать метод или комбинацию методов, используемых для аттестации оборудования.

5.161. При использовании опыта эксплуатации для обоснования аттестации оборудования следует доказать его актуальность для предполагаемого целевого назначения и применимость к условиям окружающей среды в месте эксплуатации.

5.162. В анализ, являющийся составной частью основы для аттестации оборудования, следует включать обоснование применяемых методов, теорий и допущений.

5.163. Например, правомерность использования тех или иных математических моделей для аттестации оборудования может быть обоснована с помощью экспериментальных данных, результатов испытаний или опыта эксплуатации.

5.164. Следует обеспечить прослеживаемость между всеми установленными системами и компонентами, важными для безопасности, и применимыми свидетельствами их аттестации.

5.165. Это касается не только прослеживаемости до компонента как такового, но и возможности проследить весь путь между аттестованной и установленной конфигурациями.

Пригодность и соответствие требованиям

5.166. Программа аттестации оборудования должна показать, что предусмотренные проектом конструкции, системы и элементы электроснабжения, а также программные средства отвечают всем важным для безопасности требованиям к работоспособности, мощности и надежности, содержащимся в действующих проектных основах и технических условиях на оборудование.

5.167. К примерам требований к надежности, в частности, относятся требования к отказоустойчивости, соответствию критерию единичного отказа, независимости, обнаружению отказов, ремонтпригодности и сроку службы.

5.168. Программа аттестации оборудования должна показать, что смонтированные системы электроснабжения и установленные компоненты выполнены в точном соответствии с аттестованным проектом.

Аттестация для работы в условиях окружающей среды

5.169. В настоящем Руководстве по безопасности «аттестация для работы в условиях окружающей среды» означает аттестацию по температуре, давлению, влажности, контакту с химическими веществами,

радиационному облучению, метеорологическим условиям, погружению в воду и механизмам старения как условиям, которые могут повлиять на надлежащее функционирование компонентов.

5.170. Конструкции, системы и элементы, важные для безопасности, следует проектировать таким образом, чтобы они могли выдерживать воздействие окружающей среды и были совместимыми с условиями внешней среды, связанными со всеми состояниями станции, в которых требуется их функционирование.

5.171. Следует показать, что компоненты, важные для безопасности, отвечают всем требованиям проектных основ при воздействии на них всего диапазона условий окружающей среды, указанных в проектных основах.

5.172. Компонент может выполнять функцию безопасности даже тогда, когда полная работоспособность от него не требуется: например, он может сохранять механическую целостность и не выходить из строя в определенных режимах.

Компоненты, подвергающиеся воздействию мягких условий окружающей среды

5.173. Аттестация для работы в условиях окружающей среды компонентов системы электроснабжения, важных для безопасности, условия эксплуатации которых при авариях ни при каких обстоятельствах не становятся существенно более суровыми, чем условия нормальной эксплуатации (т.е. мягкие условия окружающей среды), может основываться на выданном поставщиком сертификате, подтверждающем, что эти компоненты пригодны для заданных условий эксплуатации.

Компоненты, подвергающиеся воздействию суровых условий окружающей среды

5.174. Аттестация компонентов систем электроснабжения, классифицированных по безопасности, условия эксплуатации которых в аварийных условиях в любой момент времени значительно более суровы, чем условия их нормальной эксплуатации (т.е. суровые условия окружающей среды), должна показать, что компонент в конце расчетного срока службы способен выполнять свои функции безопасности во всем диапазоне заданных условий эксплуатации.

5.175. Для демонстрации способности компонента функционировать должным образом в конце расчетного срока службы следует рассмотреть значительные эффекты старения (например, радиационного и термического), чтобы показать, что в конце расчетного срока службы требуемая работоспособность сохраняется. Как правило, при таком подходе для учета непредвиденных механизмов старения, где это уместно, вводится дополнительная степень консерватизма.

5.176. При разработке программы аттестации оборудования следует учитывать наихудшие вероятные комбинации внешних условий эксплуатации, включая эффект синергии между условиями эксплуатации.

5.177. Если требуется провести отдельные испытания на разные условия окружающей среды (например, отдельные испытания на воздействие радиации и на воздействие температуры), следует обосновать последовательность проведения таких испытаний для корректной имитации процесса деградации, вызванного комбинацией условий окружающей среды.

5.178. Наиболее строгие методы аттестации для работы в условиях окружающей среды могут применяться только к компонентам систем безопасности.

5.179. При аттестации компонентов систем безопасности для работы в суровых условиях окружающей среды, помимо прочего, следует предусмотреть проведение типовых испытаний.

5.180. Если для изоляции оборудования от возможного воздействия окружающей среды предусмотрено использование защитных барьеров, следует выполнить программу аттестации и самих таких барьеров, чтобы подтвердить их пригодность для выполнения данной функции.

Внутренние и внешние опасности

5.181. В проектных основах и анализе безопасности станции определяются внутренние и внешние опасности, такие как пожар, затопление и сейсмические явления, воздействие которых станция должна выдерживать при эксплуатации или выдерживать безопасно, для чего необходима защита или аттестация системы.

5.182. В соответствии с рекомендациями NS-G-1.7 [5] следует обеспечить защиту систем и компонентов электроснабжения от воздействия пожаров и взрывов.

5.183. В соответствии с рекомендациями NS-G-1.11 [6] следует обеспечить защиту систем и компонентов электроснабжения от воздействия других внутренних опасностей.

5.184. В соответствии с рекомендациями документа Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.6 «Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций» [7] системы и компоненты электроснабжения следует проектировать и аттестовывать на устойчивость к сейсмическим опасностям.

5.185. В соответствии с рекомендациями документа Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.5 «Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций» [8] системы и компоненты электроснабжения следует обеспечивать защитой от других внешних опасностей или проектировать и аттестовывать на способность выдерживать их воздействие.

Электромагнитная аттестация

5.186. Бесперебойная работа электрических и электронных систем и компонентов зависит от электромагнитной совместимости компонентов с условиями той среды, в которой они эксплуатируются, то есть от способности компонента выдерживать более значительные возмущения по сравнению с теми, которые вызывают соседние или подключенные к нему компоненты.

5.187. При проектировании и монтаже оборудования и систем, важных для безопасности, а также подключаемых к ним кабелей следует обеспечить их способность выдерживать электромагнитные условия среды, в которой они находятся.

5.188. К значительным источникам электромагнитных помех, в частности, относятся:

- a) устранение тока короткого замыкания с помощью распределительного устройства, автоматического выключателя или предохранителя;
- b) электрические поля, создаваемые радиопередатчиками;

- c) другие искусственные источники электромагнитных помех на площадке станции или за ее пределами;
- d) естественные источники электромагнитных помех, такие как удары молний.

5.189. Электромагнитная аттестация систем и компонентов электроснабжения основана на:

- a) таком сочетании проекта системы и конструкции компонентов, которое позволяет минимизировать воздействие электромагнитных помех на электрические компоненты;
- b) испытаниях для демонстрации способности компонентов выдерживать расчетные уровни электромагнитного шума;
- c) испытаниях для демонстрации того, что электромагнитное излучение находится в пределах допустимых уровней.

5.190. К методам минимизации электромагнитных шумов и их воздействия относятся:

- a) подавление источника электромагнитных шумов;
- b) отделение и изоляция сигнальных кабелей систем контроля и управления от силовых кабелей;
- c) экранирование оборудования и кабелей от внешних источников магнитных и электромагнитных полей;
- d) фильтрация электромагнитного шума до его попадания на чувствительные электронные схемы;
- e) нейтрализация или изоляция электронного оборудования от разности потенциалов заземления;
- f) надлежащее заземление электрооборудования, кабельных каналов, шкафов, компонентов и оболочек кабелей.

5.191. Для всех систем и компонентов электроснабжения следует определить подробные требования по электромагнитной совместимости, а также продемонстрировать соответствие данных систем и компонентов этим требованиям.

5.192. Для обеспечения должной реализации и сохранения эффективности этих мер следует использовать надлежащие методы монтажа и технического обслуживания.

5.193. В качестве основы для разработки требований могут использоваться международные стандарты по электромагнитной совместимости для условий промышленной среды — при условии, что положения таких стандартов при необходимости будут дополнены положениями по электромагнитной совместимости компонентов атомной электростанции, которые могут подразумевать более строгие требования. Определение требований к электромагнитной совместимости включает анализ подверженности компонентов возможным повторяющимся скачкам напряжения (например, при отключении индуктивных нагрузок и прозванивании реле) и высоким скачкам напряжения (например, из-за сбоев электропитания и ударов молний).

5.194. Установление электромагнитной совместимости систем и компонентов электроснабжения энергоблока атомной электростанции предполагает проведение анализов применительно к данному энергоблоку. На основе таких анализов оценивается соответствие каждого электрического компонента требованиям по электромагнитной совместимости.

5.195. К типам электромагнитных помех, которые следует учитывать при проектировании систем и компонентов электроснабжения, относятся:

- a) генерация электромагнитных помех и устойчивость к ним;
- b) генерация и передача электромагнитных помех по кабелям;
- c) электростатический разряд;
- d) переходные процессы при коммутации и скачки напряжения;
- e) характеристики излучений беспроводных систем и устройств, используемых на станции, а также средств их ремонта, технического обслуживания и производства измерений. В частности, к беспроводным системам и устройствам относятся мобильные телефоны, приемопередающие радиостанции и беспроводные сети передачи данных.

5.196. Следует рассмотреть вопрос о необходимости создания запретных зон вблизи определенного чувствительного оборудования, в пределах которых не допускается работа беспроводных устройств и других портативных источников электромагнитных помех (например, сварочных аппаратов).

5.197. Для всего оборудования станции следует установить допустимые пределы эмиссионного и кондуктивного электромагнитного излучения.

5.198. В формировании электромагнитных условий на станции участвует все находящееся на ней электрическое или электронное оборудование. Поэтому ограничения на электромагнитное излучение следует применять ко всему оборудованию станции, а не только к оборудованию, важному для безопасности.

5.199. Предельные значения излучения, установленные для отдельных компонентов, должны находиться в пределах рабочего диапазона для электромагнитных помех и быть такими, чтобы исключалась возможность внесения отдельным узлом существенного вклада в опасности, создаваемые электромагнитными помехами.

5.200. Программа аттестации оборудования должна показать, что электромагнитные излучения всего станционного оборудования находятся в установленных пределах.

5.201. При проектировании и монтаже оборудования и систем, включая их кабельные соединения, следует в должной степени ограничить распространение (как эмиссионное, так и кондуктивное) электромагнитных помех между узлами станционного оборудования.

5.202. Скрутки и оболочки контрольно-измерительных кабелей должны обеспечивать их защиту, достаточную для сведения к минимуму электромагнитных и электростатических помех.

5.203. Дополнительные рекомендации и руководящие указания по электромагнитной совместимости электронных элементов системы электроснабжения содержатся в SSG-39 [2].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЛЯ НУЖД УПРАВЛЕНИЯ СТАРЕНИЕМ

5.204. Требование 31 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Должен быть рассчитан и указан проектный срок службы узлов АЭС, важных для безопасности. В целях обеспечения способности узлов, важных для безопасности, выполнять в течение всего проектного срока службы предписанные им функции безопасности при проектировании должны предусматриваться надлежащие запасы надежности с таким расчетом, чтобы надлежащим образом учитывались соответствующие

механизмы старения, охрупчивания при нейтронном воздействии и износа, а также потенциального ухудшения характеристик вследствие старения».

5.205. В пункте 5.51 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] отмечается:

«При проектировании АЭС должны надлежащим образом учитываться эффекты старения и износа во всех эксплуатационных состояниях, для которых предназначен тот или иной элемент, включая испытания, техническое обслуживание, простои вследствие технического обслуживания, состояния станции при возникновении постулируемого исходного события и состояния станции после постулируемого исходного события».

5.206. В пункте 5.52 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] отмечается:

«Должны предусматриваться меры для осуществления контроля, испытаний, отбора проб и инспектирования в целях оценки механизмов старения, прогнозируемых на стадии проектирования, и содействия определению непредвиденного поведения станции или ухудшения характеристик, которые могут проявиться во время эксплуатации».

5.207. Цель требования 31 и пунктов 5.51 и 5.52 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] — обеспечить, чтобы эффекты старения не ухудшали способность компонентов систем безопасности функционировать в суровых условиях окружающей среды. Подобная деградация может проявиться задолго до того, как произойдет заметное изменение функциональных возможностей при нормальной эксплуатации.

5.208. В процессе проектирования следует определить механизмы старения, способные существенно повлиять на электрические компоненты, а также способы контроля за действием этих механизмов.

5.209. Для определения возможных последствий старения прежде всего следует понять соответствующие явления старения, что представляет собой часть процесса проектирования.

5.210. Эффекты старения чаще всего возникают из-за теплового и радиационного воздействия, но для определенных компонентов важными механизмами старения могут быть другие явления (например, механическая вибрация или химическая деградация).

5.211. В программах технического обслуживания, эксплуатационного надзора и управления старением следует предусмотреть мероприятия по выявлению всех тенденций к деградации (старению), которые могут стать причиной неспособности оборудования выполнять свою функцию безопасности.

5.212. Примеры методик контроля:

- a) испытания компонентов станции или испытания подверженных старению компонентов, являющихся репрезентативными для компонентов станции;
- b) визуальные осмотры;
- c) анализ опыта эксплуатации.

5.213. Примеры способов борьбы с эффектами старения:

- a) замена компонента до окончания расчетного срока службы;
- b) корректировка функциональных характеристик с учетом эффектов старения;
- c) внесение изменений в регламенты технического обслуживания или в условия внешней среды, замедляющих процесс старения.

5.214. Следует определить расчетный срок службы компонентов систем безопасности, которые должны выполнять свою функцию безопасности в суровых условиях внешней среды.

5.215. Компоненты, классифицированные по безопасности, следует заменять до истечения расчетного срока службы.

5.216. Результаты текущей аттестации могут показать, что расчетный срок службы компонента оправдан или что его рекомендуется изменить по сравнению с ожидаемым сроком службы. Данные текущей аттестации можно использовать для увеличения или сокращения расчетного срока службы компонента.

5.217. В публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-2.12 «Управление старением атомных электростанций» [9] содержатся дополнительные рекомендации и руководящие указания по управлению старением, в том числе в отношении взаимосвязи между аттестацией оборудования и программой управления старением.

УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ

5.218. Требование 39 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Должны приниматься меры для предотвращения несанкционированного доступа на АЭС или вмешательства в функционирование узлов, важных для безопасности, включая аппаратные средства и программное обеспечение компьютеров».

5.219. Следует ограничивать доступ к оборудованию в системах, важных для безопасности, чтобы предотвратить несанкционированный доступ и уменьшить вероятность ошибки.

5.220. К числу эффективных методов относится надлежащее сочетание мер физической защиты, таких как использование запираемых корпусов и запираемых помещений и установка сигнализации на дверцах запираемых корпусов, с административными мерами.

5.221. Особую озабоченность вызывает проблема доступа к корректировке заданных уставок и калибровок из-за их важности для предотвращения деградации работы систем вследствие ошибок при эксплуатации и техническом обслуживании.

5.222. Дополнительные рекомендации по контролю доступа и защите компьютерных приложений, используемых в системах электроснабжения, содержатся в SSG-39 [2].

КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ

Условия проведения испытаний

5.223. Для всех систем, важных для безопасности, следует предусмотреть возможность проведения испытаний, в том числе, где это уместно, с применением встроенных средств диагностики.

5.224. Для соблюдения требований по доступности систем и компонентов разработку условий проведения испытаний следует координировать с разработкой программы эксплуатационных испытаний. В частности, это подразумевает учет частоты отказов компонентов при установлении периодичности испытаний. Предполагается, что определенные испытания могут выполняться только во время остановов для перегрузки топлива.

5.225. Организация испытаний включает разработку регламентов, подготовку интерфейсов испытательного оборудования, установку испытательного оборудования и использование встроенных средств диагностики.

5.226. Следует обеспечить возможность проведения испытаний и калибровки оборудования систем безопасности во всех режимах нормальной эксплуатации, включая режим работы на мощности, при сохранении способности систем безопасности выполнять свои функции безопасности.

5.227. Проведение периодических испытаний во время работы станции, как правило, необходимо для обеспечения требуемой надежности систем безопасности, однако иногда нецелесообразно проводить испытания в процессе эксплуатации, если они могут создать угрозу безопасной эксплуатации станции.

5.228. Проведение испытаний и калибровки при работе на мощности не является безусловной необходимостью, если это может отрицательно повлиять на безопасность или эксплуатацию станции.

5.229. При отсутствии средств для испытания оборудования систем безопасности при работе на мощности следует предусмотреть:

- a) обоснование того, что надежность функций, которые могут быть задействованы, находится на приемлемом уровне;
- b) возможность проведения испытаний во время останова.

Программа испытаний

5.230. При проектировании систем, важных для безопасности, следует предусмотреть разработку программы испытаний, обеспечивающей выполнение руководящих указаний из следующих публикаций:

- a) Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.2 «Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций» [10];
- b) Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.4 «Эксплуатирующая организация для атомных электростанций» [11];
- c) Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.6 «Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях» [12];
- d) Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.14 «Ведение эксплуатации атомных электростанций» [13].

5.231. Как правило, программа испытаний включает:

- a) описание целей программы;
- b) идентификацию подлежащих испытаниям систем и компонентов;
- c) сводный график испытаний;
- d) базовые принципы и обоснование проводимых испытаний и периодичность испытаний;
- e) критерии приемлемости;
- f) описание необходимой документации и отчетов;
- g) периодический анализ эффективности программы;
- h) отдельные испытательные процедуры, используемые для контроля за проведением испытаний.

5.232. Следует обосновать объем и периодичность проведения испытаний в соответствии с функциональными требованиями и требованиями доступности.

5.233. Выполнение программы испытаний должно принести следующие результаты:

- a) объективную информацию о состоянии систем и компонентов;
- b) оценку деградации компонентов;
- c) данные о тенденциях, помогающие обнаружить деградацию компонентов;
- d) признаки скорого отказа в системе;
- e) требования к оценкам, которые следует выполнить, прежде чем повторное испытание после испытания с отрицательными результатами подтвердит эксплуатационную пригодность.

5.234. Прежде чем использовать результаты повторных испытаний для подтверждения эксплуатационной пригодности рассматриваемых систем или компонентов, следует произвести оценку и документирование причин неудачных испытаний и принятых корректирующих мер. К числу корректирующих мер, в частности, могут относиться калибровка, техническое обслуживание или ремонт компонентов либо изменения регламентов испытаний.

5.235. Кроме того, следует обеспечить, чтобы программа испытаний электронных компонентов систем электроснабжения, включая защитные устройства, имеющие в своем составе электронные компоненты, соответствовала применимым руководящим указаниям из SSG-39 [2].

5.236. В программе испытаний следует предусмотреть процессы проведения периодических испытаний, которые:

- a) обеспечивают безопасность станции при фактическом проведении испытаний;
- b) не нарушают независимости систем безопасности и не создают возможностей для возникновения отказа по общей причине;
- c) не приводят к ухудшению состояния станционных компонентов сверх предусмотренных в проекте пределов (например, работоспособность или надежность дизельных двигателей может ухудшаться при работе на холостом ходу или при частых резких запусках);
- d) предусматривают такую последовательность проведения испытаний, которая дает возможность незамедлительно оценить общее состояние систем или компонентов;
- e) подтверждают выполнение функциональных и эксплуатационных требований проектных основ;

- f) включают критерии приемлемости;
- g) обеспечивают проверку всех исходных и выходных функций, важных для безопасности, таких как сигнализация, индикация, работа органов управления и исполнительных механизмов;
- h) минимизируют возможность ложного инициирования любого действия систем безопасности и любых других неблагоприятных воздействий испытаний на работоспособность станции;
- i) минимизируют продолжительность простоя оборудования;
- j) по возможности выполняются в фактических или смоделированных условиях эксплуатации, существующих при срабатывании системы;
- k) после проведения испытаний предусматривают подтверждение того, что все участвовавшие в периодических испытаниях узлы возвращены в исходное эксплуатационное состояние;
- l) предотвращают применение самодельных испытательных стендов, использование временного шунтирования или временных модификаций машинного кода или данных в стационарных компонентах.

Временное подключение испытательного оборудования к оборудованию, важному для безопасности, разрешается в том случае, если испытываемое оборудование оснащено специальными средствами для подключения данного испытательного оборудования.

РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

5.237. В проект систем электроснабжения следует включить планы технического обслуживания всех систем и компонентов.

5.238. Системы электроснабжения, важные для безопасности, следует проектировать и размещать таким образом, чтобы облегчить надзор и техническое обслуживание, обеспечить к ним своевременный доступ, а при отказах или ошибках — легкую диагностику и ремонт, а также свести к минимуму риски для ремонтно-технического персонала.

5.239. Меры по облегчению технического обслуживания, поиска и устранения неисправностей и ремонта включают:

- a) отказ от размещения оборудования в местах, где постоянно отмечаются экстремальные значения температуры или влажности;

- b) отказ от размещения оборудования в местах, где могут быть высокие уровни радиации;
- c) учет человеческого фактора (возможностей и ограничений) при выполнении необходимых работ по техническому обслуживанию;
- d) установку оборудования с достаточным пространством вокруг него, чтобы ремонтно-технический персонал технического обслуживания мог выполнять свои обязанности в нормальных рабочих условиях.

5.240. Средства технического обслуживания систем электроснабжения, важных для безопасности, следует проектировать таким образом, чтобы любые воздействия на безопасность станции оставались на приемлемом уровне.

МЕРЫ ПО ВРЕМЕННОМУ ОТКЛЮЧЕНИЮ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ИЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

5.241. При принятии мер по временному отключению электрооборудования следует обеспечить его надлежащую изоляцию для защиты персонала и предотвращения ложного срабатывания.

5.242. Если использование установки для проведения испытаний или технического обслуживания может помешать выполнению какой-либо функции, на устройствах сопряжения следует использовать аппаратную блокировку, исключающую взаимодействие с системами испытаний или технического обслуживания без сознательного вмешательства в режиме ручного управления.

5.243. В проекте следует предусмотреть конструктивное решение, обеспечивающее подтверждение готовности соответствующей электрической системы к работе.

5.244. Если приемлемая надежность работы системы не может быть надлежащим образом продемонстрирована, следует обеспечить, чтобы временное отключение любого отдельного компонента системы безопасности не приводило к потере минимально необходимого уровня резервирования.

5.245. Проекты систем безопасности, соответствующие рекомендации из пункта 5.244, должны предусматривать возможность проведения периодических испытаний отдельных частей системы безопасности, в то время как части, находящиеся в строю, могут продолжать выполнение требуемой задачи безопасности.

5.246. На пункте управления следует обеспечить наличие сигнализации о неработоспособности компонентов системы безопасности или об их переключении на шунтирующую схему.

5.247. Для часто переключаемых на шунтирующую схему или часто отключаемых компонентов сигнализация о неработоспособности или переключении на шунтирующую схему на пункте управления должна быть автоматической.

5.248. Руководящие указания по возвращению в строй систем и оборудования после испытаний и технического обслуживания содержатся в NS-G-2.6 [12].

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ НА МНОГОБЛОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

5.249. Требование 33 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Каждый энергоблок многоблочной АЭС имеет свои собственные системы безопасности и свои собственные средства безопасности для запроектных условий».

5.250. Каждый энергоблок на многоблочной электростанции должен иметь отдельные и независимые энергетические системы, важные для безопасности.

5.251. Если нельзя доказать, что совместное использование не приведет к существенному ухудшению способности систем или компонентов выполнять свои функции безопасности, в том числе способности выполнять свои функции безопасности в случае одновременной аварии на всех обслуживаемых ими блоках, следует исключить совместное использование разными энергоблоками систем электроснабжения или электрических компонентов, важных для безопасности.

5.252. При демонстрации того, что совместное использование систем или компонентов разными энергоблоками не повышает вероятности или не усугубляет последствий аварии, следует учитывать потенциальные отказы по общей причине и возможность одновременного останова одного или нескольких энергоблоков во время проведения технического обслуживания на общих частях совместно используемых систем.

5.253. При применении критерия единичного отказа к энергоблокам с совместно используемыми системами в анализе следует показать, что для энергоблоков с совместно используемыми системами или компонентами выполнены следующие условия:

- a) системы безопасности всех энергоблоков могут выполнять требуемые функции безопасности несмотря на единичный отказ в совместно используемых системах или компонентах или в обеспечивающем оборудовании или иных системах, с которыми сопряжены совместно используемые системы;
- b) системы безопасности каждого энергоблока могут выполнять требуемые функции безопасности несмотря на одновременные единичные отказы в системах каждого энергоблока, которые совместно не используются.

5.254. Показывать, что условия (a) и (b) пункта 5.253 могут выполняться одновременно, нет необходимости.

МАРКИРОВКА И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

5.255. В пункте 5.33 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] отмечается:

«Оборудование системы безопасности (включая кабели и кабельные каналы) для каждого резервного элемента системы безопасности на станции должно быть легко распознаваемым».

5.256. На всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации станции следует использовать последовательный и согласованный метод наименования и идентификации всех компонентов системы электроснабжения.

5.257. Такая идентификация не должна требовать частого обращения к чертежам, руководствам или другим материалам.

5.258. Компоненты разных секций безопасности должны легко отличаться друг от друга и от компонентов более низкого класса безопасности.

5.259. Идентификация может принимать, например, форму маркировки или цветового кодирования.

5.260. Последовательные и вычтенные наименование и идентификация систем и компонентов снижают вероятность ошибочного выбора узла для эксплуатации, технического обслуживания, тестирования, модификации, ремонта или калибровки.

5.261. Компоненты или модули, установленные в четко идентифицированном оборудовании или агрегатах, сами по себе не нуждаются в идентификации. Обычно для обеспечения идентификации таких компонентов, модулей или встроенного программного обеспечения достаточно средств управления конфигурацией.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОХОДКИ В ГЕРМООБОЛОЧКЕ

5.262. Электрические проходки — это элементы выполнения функции безопасности гермооболочки, и их всегда следует классифицировать по безопасности.

5.263. Функции конструктивной целостности включают способность выдерживать номинальные токи и токи короткого замыкания без превышения скорости утечки в проходке уровней, установленных требованиями. Класс безопасности электрических функций проходки, которые не влияют на конструктивную целостность, должен соответствовать классу безопасности узлов внутри гермооболочки, работоспособность которых зависит от проходки.

5.264. Электрическую проходку в сборе следует рассматривать как часть кабельной системы, соединяющей потребителя с первичным прерывающим устройством.

5.265. Проходки в гермооболочке следует классифицировать:

- a) по длительности непрерывной работы под напряжением, большим или равным напряжению систем, частью которых являются проводники;

- b) по импульсным напряжениям, большим или равным максимально вероятному переходному напряжению;
- c) по способности постоянно удовлетворять нужды потребителей, ожидаемые во всех состояниях станции, без превышения допустимой температуры проводников и снижения герметичности проходок;
- d) по способности безопасно выдерживать короткие замыкания в течение периода времени, необходимого для устранения токов короткого замыкания защитными устройствами, с учетом вероятных изменений напряжения;
- e) по способности выдерживать без потери механической целостности максимально возможную перегрузку по току, которая может возникнуть в результате единичного случайного отказа устройства, защищающего цепь от перегрузок.

5.266. При настройке защитных устройств следует учитывать номинальные значения длительного тока и возможности электрических проходок.

5.267. Следует обеспечить защиту проводников в проходках гермооболочки при помощи резервных защитных устройств, использующих отдельные прерыватели.

5.268. Единичное пассивное защитное устройство (например, предохранитель) можно использовать в том случае, если анализ соответствия критерию единичного отказа с высокой степенью достоверности покажет, что отказ этого пассивного защитного устройства крайне маловероятен и что на его работоспособность не повлияет постулируемое исходное событие.

5.269. Проходка в гермооболочке, которая может неограниченно выдерживать максимально возможный ток в результате короткого замыкания внутри гермооболочки, не нуждается в резервной защите.

5.270. Проходки должны удовлетворять тем же критериям разделения, что и кабели, к которым они подключены.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Ресурс

5.271. Все распределительные системы должны обладать достаточной мощностью и ресурсом для того, чтобы:

- a) снабжать электроэнергией необходимых потребителей во всех требуемых условиях эксплуатации;
- b) выдерживать максимально возможную перегрузку по току при коротких замыканиях в электрической цепи;
- c) выдерживать переходные условия без повреждения каких бы то ни было компонентов и без неблагоприятного воздействия на них;
- d) выдерживать требуемые условия электроснабжения и нагрузки.

Устройства защиты основных и групповых цепей и их потребителей

5.272. Следует обеспечить защиту всех основных и групповых цепей от перегрузок и коротких замыканий, а также контролировать их на предмет наличия замыканий на землю и при необходимости защищать от них.

5.273. Для защиты оборудования, шин и кабелей основных и групповых цепей от повреждений в условиях перегрузок и отказов следует обеспечить надлежащий выбор, настройку и согласованность работы защитных устройств.

5.274. Защитные устройства систем безопасности должны являться частью системы безопасности.

5.275. Защитные устройства следует располагать в корпусах и конструкциях, предназначенных для их защиты от воздействия внешней среды, ограничения электромагнитных излучений и защиты персонала.

5.276. Задача защитных устройств — минимизировать повреждение оборудования и внеплановые перебои в электроснабжении вследствие механических или электрических отказов или иных неприемлемых условий. Защитные устройства включают в себя оборудование, необходимое для обеспечения работоспособности системы надежного электроснабжения при выполнении ею своей функции безопасности, и компоненты, функция которых состоит в повышении готовности и надежности оборудования системы безопасности.

5.277. Согласованность работы защитных устройств должна быть настолько высокой, чтобы изолировалась только неисправная часть системы электроснабжения и это не влияло на остальную неповрежденную часть цепи.

УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ

5.278. На блочном пункте управления следует предусмотреть достаточное количество оборудования систем контроля и управления для контроля внутримплощадочных и внеплощадочных систем электроснабжения и управления их работой.

5.279. Человеко-машинный интерфейс систем электроснабжения рассмотрен в соответствующих рекомендациях, приведенных в SSG-39 [2].

5.280. Следует предусмотреть надлежащие методы контроля для оценки работоспособности систем надежного электроснабжения. Они должны обеспечивать отображение:

- a) положений выключателей (системы надежного электроснабжения, источников электроснабжения и крупных потребителей);
- b) напряжения и тока на шинах;
- c) напряжения, тока и частоты на резервных источниках электроснабжения.

5.281. Следует обеспечить индикацию переключений на шунтирующие цепи и отключений оборудования.

5.282. Следует ввести в действие регламенты эксплуатации систем электроснабжения во всех состояниях станции и при всех событиях, связанных с электрическими системами.

5.283. На дополнительном пункте управления следует обеспечить наличие достаточного количества оборудования систем контроля и управления для контроля систем надежного электроснабжения, необходимых для выполнения функций безопасности, выполняемых из данного места, и управления работой этих систем.

5.284. В проекте следует предусмотреть системы сигнализации и оповещения, связанные с системами электроснабжения, чтобы обеспечить эффективное и безошибочное обнаружение, диагностику и реагирование со стороны операторов.

5.285. Сигнализация, предупреждающая о потере эксплуатационного состояния источников систем надежного электроснабжения, должна срабатывать при обнаружении обесточивания.

5.286. Следует предусмотреть средства для автоматического инициирования всех действий по обеспечению безопасности и управления ими.

5.287. Если утверждается, что достаточно будет одних лишь действий в ручном режиме, следует доказать, что:

- a) у оператора имеется достаточная и внятная информация от датчиков и аппаратуры системы безопасности для вынесения обоснованных суждений о необходимости инициирования требуемых действий по обеспечению безопасности;
- b) оператор имеет письменные инструкции и прошел подготовку для выполнения задач по обеспечению безопасности;
- c) у оператора имеется достаточно времени для оценки состояния станции и выполнения требуемых действий;
- d) оператор располагает достаточными средствами управления станцией для выполнения требуемых действий;
- e) каналы связи между операторами, выполняющими действия, пригодны для того, чтобы обеспечить правильное выполнение этих действий.

5.288. Кроме того, следует предусмотреть средства для ручного инициирования действий по обеспечению безопасности на системном и компонентном уровнях.

5.289. Ручное инициирование действий по обеспечению безопасности является одной из форм глубокоэшелонированной защиты при нарушении нормальной эксплуатации и обеспечивает длительную эксплуатацию после аварии.

5.290. Органы управления внутриплощадочными системами электроснабжения должны иметь следующие возможности:

- a) автоматический выбор альтернативных внеплощадочных источников электроснабжения, когда внеплощадочный источник электроснабжения нормальной эксплуатации недоступен;
- b) ручной или автоматический переход на этот альтернативный источник электроснабжения;
- c) автоматическое отключение потребителей (как указано в проектных основах) и всех остальных источников электроснабжения от секции системы надежного электроснабжения, если предпочтительный источник электроснабжения вышел из строя и не восстановлен;
- d) автоматический запуск и подключение резервного источника электроснабжения переменного тока и потребителей к системе надежного электроснабжения в установленной последовательности;
- e) ручной выбор альтернативного источника электроснабжения переменного тока;
- f) повторная синхронизация системы надежного электроснабжения с источником электроснабжения нормальной эксплуатации после восстановления работы этого источника;
- g) ручное переключение для облегчения проведения испытаний, технического обслуживания и ремонта в режимах нормальной эксплуатации или останова.

5.291. Следует обеспечить корректную работу автоматических секвенсоров нагрузок независимо от фактической последовательности нагрузки, так как потеря электроснабжения от внешнего источника и срабатывание аварийной сигнализации могут произойти в любой последовательности.

СВЯЗАННЫЕ С БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

5.292. В некоторых проектах предусмотрены резервные источники электроснабжения переменного тока, не предназначенные для обеспечения работы систем безопасности. К ним применяются общие руководящие указания по резервным источникам электроснабжения переменного тока систем безопасности, но уровень аттестации оборудования, подтверждения проекта и документирования должен соответствовать принципам, применяемым для компонентов, связанных с безопасностью.

5.293. На станциях, которым не требуются резервные источники электроснабжения переменного тока, предназначенные для обеспечения работы систем безопасности, должны иметься связанные с безопасностью резервные источники электроснабжения переменного тока, обеспечивающие надежное электроснабжение функций глубокоэшелонированной защиты, которые дополняют системы безопасности и упрощают стоящие перед ними задачи.

5.294. В состав резервного источника электроснабжения следует включать электрический генератор со всеми вспомогательными устройствами и отдельный и независимый источник запасенной энергии, специально предназначенный для пуска и эксплуатации первичного двигателя.

5.295. Резервный источник электроснабжения должен обладать достаточной мощностью и ресурсом для запуска и снабжения электроэнергией всех потребителей, предусмотренных в проектных основах.

6. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1. Требование 41 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Нарушения в работе электрической сети, включая ожидаемые колебания напряжения и частоты сетевого энергоснабжения, не должны угрожать функциональности узлов АЭС, важных для безопасности».

6.2. Следует обеспечить, чтобы система электропередачи могла стабильно и непрерывно снабжать электроэнергией атомную электростанцию во время пуска, останова и при аварийных ситуациях.

6.3. Предпочтительным источником питания систем надежного электроснабжения является энергосеть. При работе на мощности источником питания обычно является турбогенератор, подключенный к энергосети.

Он работает как стабилизатор колебаний напряжения в энергосети и может подавать электричество на внутриплощадочные системы электроснабжения при обслуживании потребителей собственных нужд.

6.4. Система электропередачи должна стабильно и непрерывно передавать электроэнергию, производимую на атомной электростанции.

6.5. Эта способность должна сохраняться и после ожидаемых событий в энергосети, пока станция остается подключенной к энергосети.

6.6. Кроме того, предпочтительное электроснабжение может осуществляться через отдельное подключение к энергосети. В целях минимизации риска отказа по общей причине, вызванного событиями в энергосети, на распределительном устройстве или турбогенераторе, можно изучить возможность подключения разных секций систем электроснабжения атомной электростанции к разным предпочтительным источникам электроснабжения без существенного повышения риска внеплановых остановов и других нарушений работы.

НАДЕЖНОСТЬ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

6.7. Следует обеспечить высокое качество проектирования подключения к энергосети, управляющим цепям и релейной защите, чтобы оно способствовало надежности предпочтительного источника электроснабжения.

6.8. К событиям, которые следует учитывать при проектировании подключения к энергосети и релейной защите, относятся:

- a) ожидаемые события, связанные с электричеством, включая сценарии потери нагрузки и выпадения из синхронизма;
- b) ожидаемые события, связанные с электричеством, во время останова;
- c) загрязнение наружного оборудования;
- d) геомагнитные бури;
- e) такие события, как межвитковые замыкания обмотки в трансформаторах и потеря одной фазы подключения к энергосети.

6.9. В зонах с высоким риском загрязнения может потребоваться увеличение длины изолятора, чтобы загрязнение изолятора не создавало угрозы отказа по общей причине для внеплощадочных источников электроснабжения.

ВНЕПЛОЩАДОЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

6.10. Внеплощадочный источник электроснабжения должен иметь достаточную мощность и ресурс для питания стационарных потребителей во всех режимах эксплуатации атомной электростанции.

6.11. Следует отметить, что, когда станция находится в режиме останова, уровни напряжения в энергосети могут быть разными.

6.12. Источником энергии для внутривыгодной системы электроснабжения является система электропередачи. Кроме того, система электропередачи играет существенную роль в глубокоэшелонированной защите, предусмотренной проектом обеспечения безопасности станции. Наличие внеплощадочного источника электроснабжения обеспечивает более высокую гибкость и надежность работы средств безопасного останова атомной электростанции во время переходных режимов и аварий, а также останова при нормальных условиях. Поэтому следует обеспечить, чтобы источник электроснабжения обладал достаточной мощностью и ресурсом.

6.13. Следует обеспечить, чтобы внеплощадочная электроэнергия поступала от двух или более физически независимых внеплощадочных источников электроснабжения, конструкция и расположение которых призваны по возможности минимизировать вероятность их одновременного отказа.

6.14. Общее количество подключений линий электропередачи к энергосети зависит от возможностей всей энергосети и от проекта атомной электростанции.

6.15. Использование единственной линии электропередачи для каждого внеплощадочного источника электроснабжения может считаться приемлемым, если в отчете по обоснованию безопасности показывается, что такое решение обеспечивает достижение целей технической безопасности, сформулированных в SSR-2/1 (Rev.1) [1]. Например, использование

единственного внеплощадочного источника электроснабжения может считаться приемлемым для реакторов, в конструкции которых используются пассивные инженерно-технические средства безопасности.

6.16. На атомных электростанциях, подключенных к единственной линии электропередачи, может наблюдаться повышенный показатель количества вынужденных остановов из-за сетевых отключений. Это обстоятельство следует учитывать в первую очередь в районах с высокой частотностью попадания молнии в линии электропередачи. Если конструкция атомной электростанции не рассчитана на то, чтобы выдерживать последствия вынужденных остановов, и если не предпринимаются меры для сокращения их количества, например за счет подключения дополнительных линий электропередачи или повышения уровня защиты, атомная электростанция может преждевременно исчерпать предусмотренное в проекте предельное количество циклов тепловой нагрузки.

6.17. Каждый внеплощадочный источник электроснабжения должен обладать мощностью и ресурсом для электроснабжения как минимум всех тех потребителей, которые необходимы для смягчения последствий всех проектных аварий и ожидаемых при эксплуатации событий.

6.18. Каждый внеплощадочный источник электроснабжения, необходимый для нормальной эксплуатации, пуска и останова, должен обладать дополнительным ресурсом для электроснабжения всех потребителей нормальной эксплуатации.

6.19. На многоблочных станциях каждый энергоблок следует подключать к двум внеплощадочным источникам электроснабжения для одновременного достижения на всех энергоблоках технических целей безопасности, сформулированных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

6.20. Внеплощадочные источники электроснабжения, предусмотренные для выполнения рекомендации в пункте 6.19, могут использоваться двумя или более станциями или энергоблоками на совместной основе либо иметь отдельные электрические схемы.

6.21. Если отчет по обоснованию безопасности многоблочных станций показывает достаточность подключения к единственному источнику внеплощадочного электроснабжения, использование единственного внеплощадочного источника электроснабжения на таких станциях может быть признано приемлемым для реакторов некоторых конструкций.

6.22. При совместном использовании внеплощадочных источников электроснабжения несколькими энергоблоками на многоблочной станции следует обеспечить, чтобы возможность отключения одного блока не влияла на доступность внеплощадочного электроснабжения для других блоков.

ДОСТУПНОСТЬ

6.23. Для выполнения требований по анализу аварий следует обеспечить, чтобы при проектных авариях как минимум одна внеплощадочная линия была автоматически доступна в течение нескольких секунд для электроснабжения подключенных к ней секций систем безопасности.

6.24. В проекте следует предусмотреть обеспечение доступности второй линии внеплощадочного электроснабжения через небольшой промежуток времени.

6.25. Доступность второй линии также желательно обеспечивать в течение нескольких секунд после проектной аварии.

6.26. Следует произвести оценку системы переключения на потребителей собственных нужд с точки зрения требований безопасности проекта.

6.27. Следует обеспечить легкость переключения на вторую линию как в ручном, так и в автоматическом режиме.

6.28. Возможность переключения следует использовать только при необходимости, поскольку переключение между двумя линиями под напряжением может представлять опасность.

6.29. Желательно переходить на электропитание от второй линии после потери напряжения от первой линии. Для предотвращения параллельного включения линий, которое может вызвать скачки напряжения или силы тока на общих шинах, можно использовать блокировки между выключателями.

6.30. При планировании последовательности переключений следует учитывать изменения напряжения и пусковых токов во время переключений.

6.31. Для использования при работе станции в режиме нормальной эксплуатации следует выбирать наиболее надежный источник электроснабжения.

6.32. Выбор наиболее надежного источника электроснабжения для работы станции в режиме нормальной эксплуатации сводит к минимуму потребность в переключениях на распределительном устройстве.

6.33. Конструкция некоторых атомных электростанций предусматривает сброс нагрузки при отключении от линий электропередачи с последующим снижением мощности реактора и генератора до уровней, достаточных только для удовлетворения потребностей отключенной станции в электроэнергии (собственных нужд), без прекращения паропроизводства или отключения турбогенератора. Следствием такого переключения на работу на собственные нужды являются скачки частоты и напряжения перед выходом на стабильный режим эксплуатации.

6.34. На станциях, конструкция которых предусматривает работу на собственные нужды, внутривыгодочная система электроснабжения должна быть рассчитана на работу в условиях изменений и переходных процессов напряжения и частоты генератора при переключении от источника электроснабжения нормальной эксплуатации на работу на собственные нужды.

6.35. В качестве механизма для подачи электропитания на внутривыгодочные системы переменного тока непосредственно от выйдочных линий после отключения турбогенератора можно использовать автоматический выключатель генератора. В этих целях можно использовать и переключатели нагрузки генератора, но переключение не будет немедленным.

НЕЗАВИСИМОСТЬ ВЫЙДОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

6.36. В проекте следует предусмотреть две выйдочные электрические цепи и определить их местоположение для минимизации, насколько это практически осуществимо, вероятности их одновременного отказа при всех состояниях станции и проектных условиях окружающей среды.

6.37. Примеры событий, которые могут вызвать одновременный отказ обеих выйдочных электрических цепей:

- а) использование общей конструкции отбора напряжения для обеих выйдочных цепей;

- b) отказ одного выключателя, кабеля шины распределительного устройства или источника управляющего электроснабжения, который может вызвать отказ обеих внеплощадочных цепей.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

6.38. Физическая конструкция распределительного устройства должна минимизировать вероятность отказа внеплощадочных цепей, обеспечивающих электроснабжение потребителей систем безопасности, из-за единичного отказа оборудования.

6.39. Следует как минимум исключить совместное использование одного источника управляющего электроснабжения.

6.40. Управляющее электроснабжение распределительного устройства должно осуществляться по выделенной схеме, в которую не поступает электричество от источников питания атомной электростанции.

6.41. Электрические схемы управления наружными распределительными устройствами должны быть защищены от перенапряжения в местах их входа на станцию, а также изолированы от внутростанционных схем управления.

6.42. Конструкция оборудования распределительного устройства должна быть рассчитана на работу под нагрузками, вызванными самыми тяжелыми отказами.

6.43. Следует обеспечить, чтобы системы защиты минимизировали вероятность отказа всех внеплощадочных цепей, подающих электроэнергию потребителям систем безопасности.

6.44. К числу предлагаемых проектных решений относятся:

- a) первичные и резервные релейные системы;
- b) релейная защита отказов выключателей;
- c) двойные аккумуляторные системы;
- d) двойные катушки автоматических выключателей.

СТАБИЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОСЕТИ

6.45. Энергосеть должна осуществлять стабильное внеплощадочное электроснабжение, т.е. должна быть способна выдерживать изменения нагрузки без превышения установленных пределов по напряжению и частоте.

6.46. Для исключения создания угрозы стабильности энергосети из-за потери крупного генерирующего блока, аварийного отключения турбогенератора атомной электростанции или короткого замыкания на шинах в энергосети следует обеспечить, чтобы сеть обладала достаточной рабочей инерционностью.

6.47. Критерий надежности энергосети — это то, в какой мере сеть может обеспечивать бесперебойное электроснабжение атомной электростанции с достаточной мощностью (т.е. напряжением и частотой).

УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ОПЕРАТОРОМ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

6.48. Эксплуатирующей организации атомной электростанции и оператору системы электропередачи следует определить и установить требования к устройствам сопряжения оборудования и аппаратуры связи, в том числе к:

- a) каналам связи;
- b) эксплуатационным регламентам;
- c) предпочтительным каналам подачи электроэнергии на атомную электростанцию при остановках или в аварийных условиях;
- d) передаче опыта эксплуатации;
- e) координации планирования ремонтов и остановов;
- f) техническому обслуживанию;
- g) координации в обстоятельствах и условиях, возникающих в результате устойчивого ухудшения условий напряжения на станции, которые могут потребовать от эксплуатирующей организации атомной электростанции ручного отключения внеплощадочного электроснабжения.

6.49. На энергетическом рынке многих государств происходит разделение электроэнергетической системы и создание отдельных производственных, передающих и распределительных компаний.

6.50. Атомная электростанция требует особенно тесной координации между оператором системы электропередачи и эксплуатирующей организацией атомной электростанции в целях обеспечения безопасной эксплуатации станции и безопасного останова. Это взаимодействие основано на общих целях обеспечения ядерной безопасности и надежности работы системы электроснабжения. На атомную электростанцию могут поставлять электроэнергию один или несколько операторов системы электропередачи.

6.51. Как показывает опыт, целесообразно заключить официальное соглашение между атомной электростанцией и оператором системы электропередачи о координировании планирования, включая определение обязанностей.

6.52. Атомной электростанции следует уведомлять оператора системы электропередачи об остановах, модификациях и работах по техническому обслуживанию, а также обо всех изменениях в конструкции, ее конфигурации, эксплуатации, пределах, системах или возможностях электрической защиты, которые могут повлиять на способность оператора системы электропередачи выполнять действующие требования.

6.53. Оператору системы электропередачи следует уведомлять атомную электростанцию об отключениях, модификациях и работах по техническому обслуживанию, которые могут повлиять на готовность и надежность подключения атомной электростанции к энергосети. Примерами подобной деятельности являются работы по техническому обслуживанию на подстанциях, используемых линиями электропередачи, ведущими к атомной электростанции.

6.54. Для обеспечения максимальной готовности станции и сетевого электроснабжения при отказах в энергосети эксплуатирующей организации атомной электростанции следует согласовывать схемы электрической защиты с оператором системы электропередачи.

6.55. Подобная согласованность действий должна иметь место и в случае модификаций на станции или в энергосети, которые могут повлиять на взаимодействие между энергосетью и станцией.

6.56. Эксплуатирующей организации атомной электростанции следует согласовывать с оператором системы электропередачи значения напряжений после отключений, рассчитанные с помощью прогностических инструментов оперативного анализа состояния энергосети, производить валидацию их достоверности и консерватизма.

6.57. Для того чтобы нарушения в работе, переходные процессы или условия эксплуатации системы электропередачи не создавали угроз для ядерной безопасности, эксплуатирующей организации атомной электростанции следует обеспечить, чтобы лицензионные и проектные требования к станции были понятны оператору системы электропередачи.

6.58. В связи с необходимостью обеспечения надежного подключения атомной электростанции к энергосети может потребоваться заключение соглашения с оператором системы электропередачи о техническом обслуживании сетевого оборудования (включая оборудование управления и электрической защиты) распределительного устройства атомной электростанции и подключенных к нему цепей электропередачи на более высоком качественном уровне или о проведении более частого контроля и испытаний такого оборудования по сравнению с другим оборудованием энергосети.

6.59. Следует отметить, что конструкции, системы и элементы предпочтительного источника электроснабжения (например, распределительное устройство или сеть), которые не находятся под прямым контролем эксплуатирующей организации станции и органа ядерного регулирования, все же относятся к тем характеристикам площадки, которые необходимы для обеспечения безопасности станции.

6.60. Наиболее важные для безопасности станции предпочтительные характеристики источника электроснабжения следует задокументировать в обосновании безопасности станции, и лицензиату следует обеспечить, чтобы источник электроснабжения обладал этими характеристиками.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕТЕВЫХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ

6.61. Для обеспечения надлежащего электроснабжения (с требуемыми напряжением и частотой) атомной электростанции от энергосети и для оценки надежности сетевых подключений следует на регулярной основе проводить анализы.

6.62. К числу факторов, которые необходимо учитывать в таких анализах, относится потеря генерации электроэнергии атомной электростанцией, потеря любого другого критически важного источника производства электроэнергии, потеря электроснабжения от элемента системы электропередачи и частота отказов защитных устройств и выключателей системы электропередачи и иного оборудования.

6.63. В публикации Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии, № NG-T-3.8 «Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants» («Надежность энергосети и ее сопряжение с атомными электростанциями») [14] содержится дополнительная справочная информация по интеграции атомных электростанций и энергосети.

7. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ НАДЕЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.1. Ни в одном режиме эксплуатации атомной электростанции изменения напряжения и частоты в системе ее электроснабжения не должны отрицательно влиять на работу оборудования систем безопасности.

Ожидаемые при эксплуатации события, связанные с электричеством

7.2. Для определения изменений напряжения и частоты и переходных процессов на классифицированных по безопасности шинах, которые могут происходить в результате событий на предпочтительном источнике электроснабжения или в любой из внутримплощадочных систем электроснабжения, а также для подтверждения адекватности схемы защиты следует применять системный подход.

7.3. Примеры ожидаемых при эксплуатации событий, связанных с электричеством, которые следует учитывать, приведены в разделе 5.

7.4. В источниках резервного электроснабжения, используемых для внутримплощадочных систем электроснабжения, при последовательном переключении нагрузок происходят изменения напряжения и частоты.

7.5. По своей величине эти изменения напряжения и частоты должны быть такими, чтобы не влиять на оборудование, которое запускается, уже подключается или работает.

7.6. При анализе следует учитывать все режимы работы, а также симметричные и асимметричные события. То или иное событие может создавать угрозу для различных компонентов систем электроснабжения в зависимости от времени нарастания, длительности отказа, амплитуды или асимметрии.

Контроль и переключение шин

7.7. На шинах систем надежного электроснабжения переменного тока следует обеспечивать обнаружение деградации предпочтительного источника электроснабжения каждой шины системы надежного электроснабжения (т.е. избыточных и недостаточных напряжения и частоты).

7.8. Если деградация превышает уровни, установленные в требованиях проекта, шины, затронутые деградацией предпочтительного источника электроснабжения, должны автоматически отключаться от такого источника.

7.9. После отключения шины от деградировавшего предпочтительного источника электроснабжения она должна автоматически подключаться напрямую к альтернативным источникам в следующем порядке:

- a) альтернативный внеплощадочный источник электроснабжения;
- b) источник резервного электроснабжения данной секции системы надежного электроснабжения.

7.10. При отсоединении возможна задержка по времени, чтобы система смогла стабилизировать незначительные возмущения.

7.11. Продолжительность этой задержки по времени следует обосновать допущениями, сделанными в анализе аварий.

7.12. Желательно использовать два выключателя для отсоединения каждого предпочтительного источника электроснабжения на шине системы безопасности (например, см. рис. 3 в разделе 1).

7.13. Если автоматическое подключение к альтернативному предпочтительному источнику электроснабжения не используется, следует показать, что такое техническое решение соответствует проектным критериям станции.

7.14. Следует определить параметры систем надежного электроснабжения, включая пределы эксплуатационной готовности, установленные на основе анализа проекта, которые имеют отношение к безопасной работе станции в эксплуатационных состояниях и в условиях проектных аварий, и эти параметры следует использовать при установлении эксплуатационных пределов и условий станции.

7.15. Следует обеспечить наличие в каждой секции независимой схемы обнаружения и защиты для отключения шин систем безопасности от предпочтительного источника электроснабжения, сброса нагрузок с шин систем безопасности и запуска резервных источников электроснабжения в случае снижения напряжения, частоты или потери напряжения.

7.16. Изложенные ниже рекомендации относятся к контролю напряжения и частоты на шинах и к схемам защиты от снижения напряжения, частоты или потери напряжения:

- a) напряжение и частоту на шинах следует определять непосредственно на шинах системы безопасности, к которым должны подключаться резервные источники электроснабжения;
- b) сигналы о снижении напряжения или частоты должны поступать на блочный пункт управления;
- c) при обнаружении снижения напряжения или частоты ниже допустимых пределов следует обеспечить автоматическое отключение деградировавшего источника электроснабжения от шин системы безопасности:
 - i) необходимы два уровня защиты по напряжению с различным временем срабатывания: один уровень для обнаружения потери внеплощадочного электроснабжения на шинах системы безопасности и другой уровень для обнаружения снижения напряжения;
- d) при обнаружении неприемлемо высокого напряжения на предпочтительном источнике электроснабжения следует обеспечить его автоматическое отключение от шин системы безопасности:

- i) при определении значения уставки и времени срабатывания следует учитывать устойчивость подключенного оборудования к перенапряжению;
- ii) параметр сброса контрольно-измерительного оборудования должен быть меньше нижней границы предполагаемого рабочего диапазона напряжения источника резервного электроснабжения;
- e) каждая схема должна контролировать все три фазы;
- f) следует обеспечить невосприимчивость измерительных цепей к гармоникам;
- g) проект защитной системы должен отвечать принципу резервирования;
- h) неисправности в измерительных цепях не должны становиться причиной неправильной работы и препятствовать корректной работе схемы контроля и защиты;
- i) следует обеспечить, чтобы конструкция минимизировала вероятность внепланового отключения предпочтительного источника электроснабжения:
 - i) использование совпадающей логики и задержки времени срабатывания для преодоления переходных условий — один из способов минимизации внеплановых отключений;
- j) следует обеспечить возможность проведения испытаний и калибровки во время работы на мощности;
- k) на блочном пункте управления следует обеспечить индикацию работы всех шунтирующих цепей, предусмотренных в проекте.

7.17. При контроле напряжения, используемого только для систем сигнализации, необязательно следовать рекомендациям пункта 7.16.

7.18. Уставки пониженного напряжения и времени срабатывания защиты от пониженного напряжения следует определять на основе анализа требований к напряжению потребителей систем безопасности на всех уровнях внутриплощадочной распределительной системы.

7.19. Неправильная логика защиты от скачков напряжения может привести к неблагоприятным последствиям для систем и оборудования безопасности, таким как самопроизвольное отключение потребителей систем безопасности от резервных источников электроснабжения и самопроизвольное отключение систем безопасности от внеплощадочного источника электроснабжения из-за обычных переходных процессов, происходящих при запуске двигателя.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Критерий единичного отказа

7.20. Требование 25 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Критерий единичного отказа должен применяться к каждой группе безопасности, включаемой в проект станции».

7.21. В пункте 5.39 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] указывается:

«При применении критерия единичного отказа [см. сноску 3] к группе безопасности или системе безопасности ложное срабатывание должно рассматриваться как один из видов отказа».

7.22. В пункте 5.40 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] указывается:

«При проектировании должно уделяться надлежащее внимание отказу пассивного элемента, если только в рамках анализа единичного отказа с высоким уровнем достоверности не было обоснованно доказано, что отказ этого элемента весьма маловероятен и что выполняемая им функция не подвергается воздействию постулируемого исходного события».

7.23. Хотя в SSR-2/1 (Rev. 1) [1] критерий единичного отказа применяется только к системам безопасности, применение таких понятий, как критерий единичного отказа, является действенным методом обеспечения высокой функциональной надежности любой системы.

7.24. Для обеспечения соблюдения критерия единичного отказа, как правило, используются концепции резервирования, независимости, контролепригодности, непрерывного контроля, аттестации для работы в условиях окружающей среды и ремонтпригодности.

7.25. Следует обеспечить, чтобы каждая группа безопасности выполняла все действия, необходимые для реагирования на постулируемые исходные события при совокупном наличии следующих факторов:

- a) любого определяемого средствами контроля единичного отказа системы безопасности;

- b) любых отказов, не определяемых средствами контроля (т.е. любого отказа, который невозможно обнаружить посредством проведения периодических испытаний, средствами сигнализации или выявления аномалий);
- c) всех отказов, вызванных этим единичным отказом;
- d) всех отказов и ложных срабатываний систем, которые приводят к проектному событию или являются следствием проектного события, требующего выполнения функции безопасности;
- e) временного отключения или шунтирования части системы безопасности для проведения испытаний или технического обслуживания, допускаемых эксплуатационными пределами и условиями станции.

7.26. При обосновании несоблюдения критерия единичного отказа целесообразно обратить особое внимание на возможность возникновения низкочастотных внешних опасностей и на долгосрочную доступность вспомогательных систем, необходимых для работы источников электроснабжения.

7.27. Следует обеспечить, чтобы несоблюдение критерия единичного отказа имело место только в исключительных случаях и было четко обосновано в анализе безопасности.

7.28. Несоблюдение критерия единичного отказа может быть обосновано в следующих случаях:

- a) при очень редких постулируемых исходных событиях;
- b) при крайне маловероятных последствиях постулируемых исходных событий;
- c) при отключении на ограниченный срок некоторых компонентов в целях проведения технического обслуживания, ремонта или периодических испытаний;
- d) для средств, предусмотренных исключительно для запроектных условий;
- e) при постулируемых отказах, вероятность возникновения которых настолько мала, что ими можно пренебречь.

7.29. При применении критерия единичного отказа для обоснования исключения конкретного отказа из рассмотрения можно использовать анализ надежности, вероятностную оценку, опыт эксплуатации, инженерное заключение или все эти методы в любой комбинации.

7.30. Если критерий единичного отказа не соблюдается в ходе испытаний или работ по техническому обслуживанию, следует оценить период времени, на который происходит временное отключение оборудования, с точки зрения его значимости и потенциального влияния на частоту повреждений активной зоны.

7.31. Условия, при которых критерий единичного отказа не соблюдается во время технического обслуживания, ремонта или испытаний, должны соответствовать эксплуатационным пределам и условиям станции.

7.32. Если соблюдения критерия единичного отказа недостаточно для выполнения требований надежности, следует предусмотреть дополнительные проектные средства или внести в проект модификации, позволяющие обеспечить соответствие системы требованиям надежности.

Выполнение защитных действий

7.33. При проектировании систем надежного электроснабжения, их защитных устройств и средств автоматики следует обеспечить, чтобы заданная последовательность защитных действий после автоматического или ручного инициирования выполнялась вплоть до полного завершения.

7.34. Для возврата систем надежного электроснабжения в нормальный режим ожидания должны потребоваться намеренные действия оператора.

РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ НАДЕЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Общие положения

7.35. Требование 68 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«В проект АЭС должна быть включена система аварийного электроснабжения, способная обеспечить необходимое электроснабжение при наступлении ожидаемых при эксплуатации событий и в условиях проектной аварии в случае потери внешнего электроснабжения. В проект должен быть включен резервный источник энергопитания для выработки необходимой энергии в условиях запроектной аварии».

7.36. В состав резервного источника электроснабжения переменного тока следует включать электрический генератор со всеми приспособлениями и специальный отдельный и независимый источник запасенной энергии как для пуска, так и обеспечения работы первичного двигателя.

7.37. Предпочтительный подход состоит в наличии только одного резервного источника электроснабжения на секцию, что исключает необходимость параллельной работы генераторов.

7.38. Если для одной секции используется несколько источников электроснабжения, следует продемонстрировать надежность такой конфигурации.

7.39. Резервный источник электроснабжения должен обладать достаточной мощностью и ресурсом для запуска и непрерывного электроснабжения всех потребителей в своей секции во всем диапазоне условий, включая возможность возникновения таких условий, как:

- a) работа потребителей в условиях выбега;
- b) работа потребителей в условиях перегрузки;
- c) изменение характеристик потребителя из-за работы генератора на нижней или верхней границе допустимых диапазонов напряжения и частоты;
- d) снижение мощности двигателя, например из-за более высокой температуры всасываемого воздуха, условий окружающей среды или температуры топлива;
- e) увеличение нагрузки в будущем.

7.40. В аварийном режиме эксплуатации дизель-генераторы рассчитаны на работу при фиксированном напряжении и частоте. По общему правилу, в стационарном режиме допускается отклонение напряжения и частоты от заданного значения в пределах $\pm 2\%$. Когда на электродвигатели подается напряжение ниже номинального, некоторые из их характеристик несколько меняются, а потребление энергии увеличивается.

7.41. Предпочтительные номинальные значения параметров приводного механизма резервного источника допускают 3000–4000 часов непрерывной работы без капитального ремонта. Обычно предусматривается возможность работы с перегрузкой 10–15% в течение как минимум 2 часов в сутки. Это дает гарантию сохранения работоспособности источника электроснабжения при краткосрочной нагрузке в начале события, когда

системы инженерно-технических средств безопасности перестраиваются для приведения в действие системы впрыска или охлаждения, а их насосы работают в условиях выбега или с более высоким расходом, чем предусмотрено в теплогидравлических расчетах. Теплогидравлические расчеты, как правило, консервативны, поэтому расчетная потребляемая мощность двигателей может быть занижена.

7.42. Следует оценить способность насосов с электроприводом подавать необходимые объемы жидкости при работе генератора на нижней границе диапазона частоты.

7.43. Изменения частоты влияют на вращающий момент двигателей.

7.44. Следует продемонстрировать, что резервный источник электроснабжения может работать непрерывно в течение требуемого периода времени, установленного в проектных основах, без каких-либо остановок для проведения работ по техническому обслуживанию.

7.45. Резервный источник электроснабжения переменного тока должен быть оснащен системой автоматического запуска при потере предпочтительного источника электроснабжения на основных шинах.

7.46. Кроме того, резервный источник переменного тока может оснащаться системой автоматического запуска при подаче аварийного сигнала (без потери электроснабжения на шинах системы безопасности).

7.47. Время запуска резервного источника электроснабжения переменного тока и подключения к нему потребителей должно соответствовать допущениям относительно времени запуска, сделанным в анализе безопасности.

7.48. Внутриплощадочные запасы топлива и других расходных материалов (например, смазочного масла) должны быть достаточными для обеспечения работы резервных источников электроснабжения до момента восстановления внеплощадочного электроснабжения.

7.49. Внеплощадочные запасы топлива и других расходных материалов могут зависеть от наличия источников их пополнения, а также от достаточности внутриплощадочных запасов на время, необходимое для их

пополнения. В большинстве государств для объема внутриплощадочных запасов установлен срок в одну-две недели работы без пополнения из внешних источников.

7.50. Следует обеспечить независимость резервных источников от источников электроснабжения и источников питания систем контроля и управления, не относящихся к их секции.

7.51. Электроснабжение систем контроля и управления, используемых для пуска, подключения, работы и защиты резервного источника энергоснабжения, должно осуществляться от аккумуляторных батарей, относящихся к их секции.

7.52. Потеря источника электроснабжения постоянного тока в той же секции, к которой относится резервный источник электроснабжения, может стать причиной не только недоступности резервного источника электроснабжения переменного тока, но и потери других функций секции, что приведет к выходу из строя резервного электроснабжения переменного тока в данной секции.

7.53. При использовании аккумуляторных батарей, специально предназначенных для резервного источника электроснабжения, следует обеспечить столь же строгий контроль их состояния для обнаружения признаков износа и неисправностей, как и для всех других аккумуляторных батарей систем безопасности.

7.54. Резервный источник электроснабжения следует использовать только в течение времени, необходимого для повторного подключения к надежным и стабильным предпочтительным или альтернативным источникам электроснабжения.

7.55. Следует исключить использование резервных источников электроснабжения в периоды максимальной нагрузки.

7.56. Разрешается использование системы надежного электроснабжения для обслуживания потребителей более низкого класса безопасности (в том числе потребителей, не важных для безопасности) при условии соблюдения требований независимости, изложенных в настоящем Руководстве по безопасности.

7.57. При срабатывании аварийной сигнализации следует обеспечить автоматическое отключение оборудования, не классифицированного по безопасности.

7.58. Изолирующие устройства между системой надежного электроснабжения и оборудованием более низкого класса безопасности должны входить в состав системы надежного электроснабжения.

7.59. Следует обеспечить, чтобы секвенсор нагрузок автоматически отключал всех не важных для безопасности потребителей и не допускал их автоматического включения.

7.60. Секвенсор нагрузок должен разрешать запуск не важных для безопасности потребителей только после запуска потребителей систем безопасности и только после подтверждения наличия достаточной мощности для запуска и эксплуатации потребителей, не важных для безопасности.

7.61. Переключение шины системы надежного электроснабжения с резервного источника переменного тока на предпочтительный источник электроснабжения должно производиться только вручную.

7.62. При переключении нескольких секций системы надежного электроснабжения со своего резервного источника электроснабжения на предпочтительные источники следует обеспечить, чтобы одновременно производилось переключение только одной секции.

7.63. После переключения секции системы надежного электроснабжения на предпочтительный источник электроснабжения следует вначале перевести соответствующий резервный источник электроснабжения переменного тока в нормальный режим ожидания и только после этого приступить к переключению другой секции на предпочтительный источник электроснабжения.

Испытания

7.64. Следует предусмотреть средства для проведения периодических испытаний резервных источников электроснабжения во время эксплуатации станции.

7.65. В методике проведения испытаний следует предусмотреть сохранение способности резервного источника электроснабжения к выполнению своей функции безопасности во время испытаний.

7.66. Процедуры проведения испытаний не должны ставить под угрозу независимость систем безопасности и создавать возможность возникновения отказа по общей причине.

7.67. Примерами испытаний, которые ставят под угрозу независимость систем безопасности или создают возможность отказов по общей причине, являются испытания дизелей на холостом ходу с образованием сажи, ненадлежащая процедура перевода в нормальный режим ожидания после завершения испытаний и совершение ошибок оператором при проведении испытаний резервного оборудования.

Критерии функционирования (переходные и динамические)

7.68. Следует продемонстрировать, что изменения в напряжении и частоте при подаче электроэнергии от резервного источника электроснабжения переменного тока находятся в пределах проектных основ для подключенных потребителей и первичного двигателя.

7.69. Предполагается, что изменения в напряжении и частоте останутся в пределах диапазона, подходящего для непрерывной работы. Отклонения за пределы этого диапазона при последовательном нагружении и на короткие периоды времени допускаются при условии, что напряжения и частота будут восстановлены за некоторое время до подключения следующего потребителя и что напряжение на выводах двигателя будет достаточным для пуска потребителей на каждом последующем этапе.

7.70. Эффективность функционирования резервного источника электроснабжения при последовательном нагружении и с непрерывными нагрузками, что имеет место только в условиях аварий, как правило, определяется при помощи испытаний в сочетании с аналитическими методами.

Релейная защита резервных источников электроснабжения

7.71. Следует обеспечить работоспособность устройств аварийного отключения, защищающих питание от резервного источника электроснабжения от немедленных катастрофических отказов, во всех режимах функционирования резервных источников электроснабжения.

7.72. В качестве примеров таких устройств можно привести устройства, обеспечивающие:

- a) защиту резервного источника электроснабжения от катастрофических отказов, такую как противоразгонная защита и дифференциальная защита генератора;
- b) защиту систем надежного электроснабжения от катастрофических отказов, такую как резервная защита от токовых перегрузок и низкоимпедансная защита от замыканий на землю.

7.73. При работе резервного источника электроснабжения в аварийном режиме на обслуживание потребителей систем безопасности устройства аварийной защиты, защищающие резервный источник электроснабжения от некатастрофических отказов, следует переключить на шунтирующую схему, при этом они должны сохранять работоспособность и в режимах нормальной эксплуатации, и при проведении испытаний.

7.74. В проекте следует предусмотреть проведение индивидуальных испытаний каждой функции аварийного останова и переключения на схему шунтирования.

7.75. Следует обеспечить вывод информации обо всех срабатываниях защитных устройств аварийного отключения резервных источников электроснабжения на блочный пункт управления.

Вспомогательные системы резервных источников электроснабжения переменного тока

7.76. В целях соблюдения принципов резервирования и независимости секций следует обеспечить, чтобы электроснабжение оборудования вспомогательных систем (например, систем вентиляции, водяных насосов системы охлаждения, систем смазки) дублирующей секции резервных источников электроснабжения осуществлялось из той же секции, работу которой она обеспечивает.

7.77. Следует обеспечить калибровку систем собственных нужд и вспомогательных систем резервных источников на неоднократные запуски.

7.78. Как правило, пусковые системы рассчитаны не менее чем на пять запусков. В этих целях для сохранения ресурса, как правило, необходимо предотвращать все попытки пуска по истечении установленного срока.

Топливо для резервных источников электроснабжения переменного тока

7.79. Следует продемонстрировать, что топливо для резервных источников электроснабжения переменного тока может храниться в течение длительных периодов времени.

7.80. Мазут на атомной электростанции хранится в течение длительного времени. Некоторые виды топлива химически нестабильны при длительном хранении. Старение и окисление топлива могут привести к росту содержания кислот, увеличению его вязкости, а также образованию смол и отложений, которые могут засорять фильтры. Ухудшение качества топлива может вызвать отказ по общей причине резервных источников электроснабжения переменного тока.

7.81. Следует проверять каждую партию топлива на соответствие техническим условиям.

7.82. Как правило, пробы топлива для проверки отбираются на площадке.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Общие положения

7.83. В состав каждой секции системы надежного электроснабжения постоянного тока должны входить как минимум одна аккумуляторная батарея, одно зарядное устройство и распределительная система.

7.84. Чтобы обеспечить большую гибкость при техническом обслуживании, в каждой секции желательно иметь два зарядных устройства и две параллельные аккумуляторные батареи.

7.85. Подключенные потребители постоянного тока должны быть рассчитаны на напряжение поддерживающего заряда и напряжение выравнивающего заряда.

7.86. Для обеспечения достаточной емкости аккумуляторной батареи напряжение поддерживающего заряда должно быть выше, чем номинальное напряжение на шине постоянного тока, а конечное напряжение после разрядки — ниже.

Аккумуляторная батарея

7.87. Каждый комплект аккумуляторных батарей без зарядного устройства должен быть способен выполнить все необходимые требования и условия по нагрузке (включая рабочие циклы и электрические переходные режимы), возникающие при состояниях станции, установленных в проектных основах, с учетом таких факторов, как расчетные запасы, температурные эффекты, любые недавние разрядки и ухудшение характеристик в результате старения.

7.88. Как правило, граничный случай для определения емкости аккумуляторной батареи — это обесточивание станции.

7.89. В помещениях аккумуляторных батарей следует обеспечить вентиляцию для удержания концентраций горючих газов ниже предписанных уровней.

7.90. Если необходима принудительная вентиляция, то:

- a) электроснабжение системы вентиляции помещения аккумуляторных батарей должно осуществляться от той же секции, что и аккумуляторных батарей в рассматриваемом помещении;
- b) в качестве меры предосторожности следует рассмотреть контроль содержания водорода.

7.91. Следует проводить периодические испытания аккумуляторных батарей для демонстрации работоспособности системы и выявления любой деградации.

7.92. Как правило, периодические испытания выполняются в соответствии с рекомендациями, разрабатываемыми для каждого типа аккумуляторных батарей, и обычно представляют собой тест емкости батареи, проводимый с интервалом в 1–5 лет (в зависимости от состояния батареи), а также частую проверку следующих параметров, в зависимости от обстоятельств:

- a) тока компенсационного подзаряда;
- b) уровня электролита в каждой ячейке;
- c) удельного веса электролита репрезентативной ячейки;
- d) напряжения репрезентативной ячейки;
- e) температуры репрезентативной ячейки.

7.93. Следует контролировать температуру в помещениях аккумуляторных батарей.

7.94. Емкость аккумулятора и срок его службы зависят от температуры.

7.95. Следует контролировать состояние плавких предохранителей аккумуляторных батарей.

Зарядное устройство аккумуляторной батареи

7.96. У каждой аккумуляторной батареи должно иметься собственное зарядное устройство.

7.97. Каждое зарядное устройство должно обладать достаточной мощностью для выполнения следующих задач:

- a) поддержания батареи в полностью заряженном состоянии при нормальной эксплуатации;
- b) перевода батареи из полностью разряженного состояния в минимально заряженное состояние в пределах приемлемого периода времени с одновременным удовлетворением максимальных совокупных потребностей различных стационарных и аварийных потребителей после потери нормального электроснабжения.

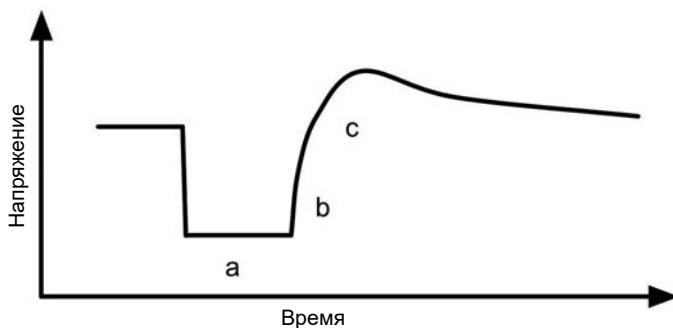
7.98. Если в качестве источника электроснабжения для инвертора используется выпрямитель, следует обеспечить его самозащиту.

7.99. Защита электроснабжения включает в себя: защиту от обратного тока, средства ограничения тока или защиту от перегрузок, а также защиту от чрезмерного понижения или превышения выходного напряжения.

7.100. Каждое зарядное устройство аккумуляторной батареи должно защищать свой источник постоянного тока от переходных процессов в системе переменного тока, а также свой источник переменного тока от переходных процессов в системе постоянного тока.

7.101. Зарядные устройства аккумуляторной батареи должны удерживать выходное напряжение в пределах рабочего диапазона напряжения постоянного тока при следующих обстоятельствах:

- a) при снижении входного напряжения переменного тока во время устранения неисправностей на подводящей стороне и при возврате к высокому напряжению:
 - i) при устранении неисправностей в системе электропередачи рядом со станцией обычная продолжительность процедуры составляет 100–250 мс, а при наличии неисправностей во внутримплощадочной системе электроснабжения — до 100 мс. После устранения неисправности в энергосети напряжение питания поднимется до уровня, задаваемого генератором, служащим источником питания. Такие просадки и скачки напряжения с небольшим временем нарастания могут привести к серьезному превышению напряжения на стороне постоянного тока зарядного устройства аккумуляторной батареи;
 - ii) эффективным способом поддержания выходного напряжения в рабочем диапазоне напряжения постоянного тока для зарядных устройств является автоматическое, без задержки, отключение зарядного устройства при пониженном напряжении переменного тока и его перезапуск, когда напряжение питания восстанавливается до нормальных значений. Это может защитить системы электроснабжения постоянного тока (и бесперебойного электроснабжения переменного тока) от переходных скачков напряжения, вызванных событиями в энергосети;
- b) при сценариях потери нагрузки, когда входное напряжение повышается:
 - повышение напряжения будет определяться предшествующей активной и реактивной нагрузкой генератора. Превышение напряжения обычно составляет 130–150% (см. рис. 7).



Примечание: (a) напряжение при коротком замыкании; (b) быстрый рост напряжения; (c) скачок напряжения из-за возбуждения генератора и возврат к нормальному напряжению.

РИС. 6. Типичная кривая напряжения на площадке во время устранения неисправности в системе электропередачи.

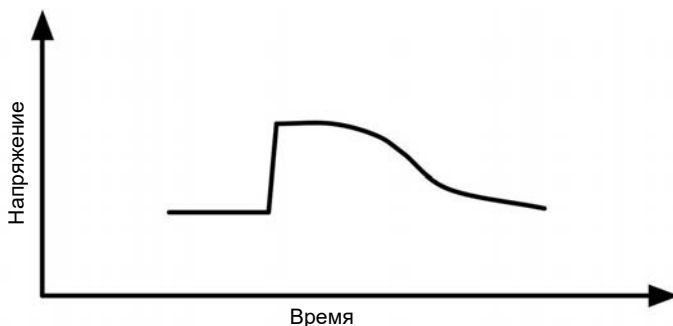


РИС. 7. Типичная кривая напряжения на площадке после потери нагрузки (переход в режим работы на собственные нужды).

7.102. Следует обеспечить возможность электроснабжения потребителей непосредственно через зарядные устройства без подключения аккумуляторной батареи.

7.103. Способность обслуживать потребителей постоянного тока непосредственно от зарядного устройства аккумуляторной батареи является частью принципа неодинаковости при электроснабжении систем постоянного тока. Работа в этом режиме обычно не предполагается.

7.104. Каждое зарядное устройство аккумуляторной батареи следует снабдить отключающими устройствами в цепях переменного и постоянного тока, позволяющими изолировать зарядное устройство.

Система бесперебойного электроснабжения переменного тока

7.105. Там, где это необходимо, следует обеспечить наличие систем бесперебойного надежного электроснабжения переменного тока для электроснабжения оборудования, важного для безопасности, которое требует постоянной подачи переменного тока.

7.106. В конструкциях некоторых станций наличие систем бесперебойного электроснабжения переменного тока не требуется. Для современных систем контроля и управления возможно обслуживание всех потребителей, требующих непрерывного электроснабжения, с помощью систем постоянного тока. При таком подходе устраняется источник отказов.

7.107. Каждая секция системы бесперебойного надежного электроснабжения должна иметь в своем составе источник питания от системы надежного электроснабжения постоянного тока на инвертор, источник питания от шины переменного тока той же секции, а также устройство для автоматического переключения между этими двумя источниками питания.

7.108. В качестве альтернативы система бесперебойного надежного электроснабжения переменного тока может состоять из источника бесперебойного питания со специальным зарядным устройством, аккумуляторной батареи и инвертора.

7.109. Если используется источник бесперебойного питания, также применяются рекомендации и руководящие указания, приведенные в настоящем документе для зарядных устройств и аккумуляторных батарей.

7.110. Электрические характеристики и непрерывность бесперебойного электроснабжения переменного тока должны отвечать требованиям потребителей, обслуживаемых системой.

7.111. Как правило, граничный случай для определения мощности — это обесточивание станции.

7.112. На выходе бесперебойное электроснабжение может подвергаться воздействию возмущений, например просадок напряжения или прерывания цикла, при условии, что подобные нарушения не приводят к потере требуемой функции оборудования, обслуживаемого источником электроснабжения, и к нежелательным срабатываниям оборудования.

7.113. Конструкция источников бесперебойного питания должна соответствовать характеристикам и проектным требованиям потребителей и взаимодействий между потребителями, подключенными к системе бесперебойного электроснабжения переменного тока.

7.114. Например, в конструкции статических инверторов следует обеспечить, чтобы гармоники напряжения, производимые самим инвертором, а также несинусоидальными потребителями, не ухудшали функции обслуживаемых систем.

Защита систем электроснабжения постоянного тока и бесперебойного электроснабжения переменного тока

7.115. Зарядные устройства для аккумуляторов, инверторы и мотор-генераторные агрегаты являются источниками ограниченного тока короткого замыкания. Это влияет на требования к чувствительности их защитных устройств.

7.116. Следует обеспечить согласованность защиты зарядных устройств аккумуляторов, инверторов и мотор-генераторных агрегатов с соответствующими альтернативными источниками электроснабжения, инверторами, статическими переключателями, зарядными устройствами аккумуляторов, распределительными панелями, приборными панелями и шкафами, а также с другим оборудованием, которое они обслуживают.

7.117. Следует обеспечить защиту систем электроснабжения постоянного тока и бесперебойного электроснабжения переменного от пониженного и повышенного напряжения.

7.118. Изолированные (незаземленные) системы электроснабжения постоянного тока следует оборудовать средствами контроля состояния заземления.

7.119. Система контроля состояния заземления должна подавать сигнал тревоги до падения полного сопротивления земли ниже значения, при котором может возникнуть неисправность.

7.120. Систему распределения постоянного тока следует оснащать согласованной защитой.

7.121. Согласованность цепей системы электроснабжения постоянного тока предполагает использование защитных устройств главной шины и защитных устройств в параллельных цепях, в цепях управления распределительных устройств, на релейных и технологических панелях управления, а также в зарядных устройствах аккумуляторных батарей.

7.122. При проведении анализа согласованности защитных устройств постоянного тока следует использовать соответствующие поправочные коэффициенты или кривые характеристик аварийного останова для защитных устройств.

7.123. Система бесперебойного надежного электроснабжения переменного тока должна быть оснащена согласованной защитой.

7.124. Желательно, чтобы инвертор не имел защиты от повышенного напряжения со стороны постоянного тока.

7.125. Согласованность предполагает использование защитных устройств главной шины и защитных устройств в параллельных цепях.

7.126. Зарядное устройство аккумуляторной батареи, аккумуляторная батарея и инвертор (или мотор-генераторный агрегат) представляют собой уникальную функциональную систему, поскольку эти элементы создают «цепочку электроснабжения» для множества потребителей бесперебойного электроснабжения и тесно взаимодействуют между собой. Следовательно, надлежащим образом согласованные настройки защиты обеспечат сохранение функций безопасности. Например, в случае превышения напряжения при подаче переменного тока на зарядное устройство аккумуляторной батареи данное зарядное устройство ограничит распространение возмущения на сторону постоянного тока до уровня, который не вызовет аварийного отключения других потребителей систем безопасности, в том числе самого источника бесперебойного электроснабжения.

7.127. Следует обеспечить защиту систем бесперебойного электроснабжения переменного тока от пониженной и повышенной частоты.

8. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

8.1. Если проектом станции предусмотрено использование электроснабжения переменного тока для приведения станции в контролируемое состояние после потери источника внеплощадочного электроснабжения и резервных источников надежного электроснабжения, на атомной электростанции или рядом с ней следует разместить альтернативный источник электроснабжения переменного тока.

8.2. Альтернативные источники электроснабжения переменного тока, включая необходимые точки подключения, устанавливаются для защиты систем электроснабжения от одновременного выхода из строя внеплощадочных и аварийных источников электроснабжения переменного тока. Для этого необходимы источники переменного тока, неодинаковые по конструкции и не подверженные воздействию событий, которые привели к потере источников внутриплощадочного и внеплощадочного электроснабжения.

8.3. Следует провести аттестацию альтернативных источников электроснабжения переменного тока и их вспомогательных устройств в соответствии с целевым назначением.

8.4. Альтернативные источники переменного тока должны обладать достаточной мощностью для электроснабжения систем, работа которых необходима в условиях обесточивания станции в течение времени, требуемого для приведения станции в контролируемое состояние и поддержания ее в этом состоянии.

8.5. Необходимая работоспособность альтернативных источников электроснабжения переменного тока в условиях обесточивания станции предполагает достаточность электроснабжения от альтернативных источников для одновременного обеспечения отвода остаточного тепловыделения реактора, поддержания целостности первого контура и

поддержания реактора в подкритическом состоянии, а также для отвода остаточного тепловыделения от отработавшего топлива на всех энергоблоках в течение времени, достаточного для надежного восстановления других источников электроснабжения.

8.6. На энергоблоках, уровень резервирования которых за счет наличных резервных источников электроснабжения переменного тока превышает требуемый, допускается использовать один из этих источников в качестве альтернативного источника электроснабжения переменного тока при условии, что такой источник не подвержен воздействию событий, вызвавших потерю других внутриплощадочных и внеплощадочных источников электроснабжения, и что соблюдаются другие рекомендации настоящего раздела.

8.7. Если альтернативный источник электроснабжения переменного тока обслуживает более одного блока на площадке, на которой резервные источники надежного электроснабжения переменного тока используются блоками на совместной основе, альтернативный источник электроснабжения переменного тока должен обладать достаточной мощностью для обслуживания систем, функционирование которых необходимо при обесточивании станции в течение времени, требуемого для приведения всех блоков, совместно использующих источники надежного электроснабжения переменного тока, в контролируемое состояние и поддержания их в этом состоянии.

8.8. Альтернативный источник электроснабжения переменного тока для одного блока, как правило, не следует подключать к внутриплощадочной системе электроснабжения данного блока.

8.9. Электроснабжение вспомогательных систем, поддерживающих в состоянии готовности альтернативный источник переменного тока, допустимо осуществлять от одного или нескольких блоков, если это не влияет на работоспособность альтернативного источника электроснабжения переменного тока.

8.10. Следует свести к минимуму вероятность отказа по общей причине любого резервного или альтернативного источника электроснабжения переменного тока.

8.11. Следует исключить существование даже одного уязвимого места, через которое событие, вызванное погодными условиями, другое внешнее событие или отдельный отказ могут вывести из строя любой из резервных источников электроснабжения переменного тока на энергоблоке с одновременным отказом всех внеплощадочных и альтернативных источников электроснабжения переменного тока.

8.12. Следует предусмотреть подключение альтернативного источника электроснабжения переменного тока к одной или всем шинам системы надежного электроснабжения.

8.13. Системы надежного электроснабжения должны запитываться от альтернативных источников переменного тока только после отключения других источников электроснабжения.

8.14. Альтернативные источники электроснабжения переменного тока должны быть способны обслуживать требуемых потребителей в течение времени, предусмотренного в обосновании безопасности станции и в анализе работы станции в условиях обесточивания.

8.15. Желательно, чтобы переключение потребителей на альтернативные источники электроснабжения переменного тока выполнялось настолько быстро, насколько это практически осуществимо. Максимально быстрое восстановление электроснабжения переменного тока после обесточивания станции восстанавливает в той или иной степени глубокоэшелонированную защиту систем электроснабжения, работу систем безопасности, которые зависят от электроснабжения переменного тока, а также вспомогательных систем (например, освещения и жизнеобеспечения), которые значительно расширяют возможности операторов реагировать на событие.

8.16. Кроме того, можно предусмотреть возможность электроснабжения потребителей, необходимых в запроектных условиях, от альтернативных источников переменного тока.

8.17. В проекте станции следует предусмотреть необходимые средства, позволяющие безопасно использовать непостоянные источники электроснабжения для восстановления необходимого электроснабжения.

8.18. Следует обеспечить, чтобы электроснабжение оборудования, необходимого для смягчения последствий аварии с плавлением активной зоны, могло осуществляться от любого источника.

9. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ И ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ПРОЕКТА

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА

9.1. Проектирование систем электроснабжения, важных для безопасности, следует осуществлять в рамках системы менеджмента, соответствующей требованиям публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-3 «Система управления для установок и деятельности» [15] и рекомендациям публикаций Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1 «Применение системы управления для установок и деятельности» [16] и № GS-G-3.5 «Система управления для ядерных установок» [17].

ВЕРИФИКАЦИЯ

9.2. Мощность и ресурс, требующиеся от систем электроснабжения, следует определять на основе анализа и верифицировать путем проведения испытаний (см. приложение II).

9.3. При разработке и верификации проекта следует выполнить и задокументировать в пригодном для проверки виде каждую из следующих демонстраций:

- a) демонстрацию способности систем электроснабжения выполнять свои функции безопасности в соответствии с их проектными основами;
- b) демонстрацию соблюдения проектных требований к системам электроснабжения;
- c) демонстрацию соответствия систем надежного электроснабжения критерию единичного отказа;
- d) демонстрацию соответствия систем электроснабжения требованиям надежности, сформулированным в проектных основах;
- e) демонстрацию надлежащей согласованности работы защитных устройств;
- f) демонстрацию принятия надлежащих мер по предотвращению обесточивания станции;

- g) демонстрацию того, что надежность внеплощадочных цепей, используемых для электроснабжения потребителей систем безопасности, соответствует и будет и в дальнейшем соответствовать требованиям доступности после проведения плановых изменений в системах электропередачи и на генерирующих установках;
- h) демонстрацию сохранения внеплощадочными электросетями, используемыми для электроснабжения потребителей систем безопасности, требуемых мощности и ресурса при следующих событиях: отключении атомной электростанции; отключении самой крупной генерирующей установки; отключении самой крупной цепи электропередачи или межсистемной линии электропередачи (позволяющей пропускать ток) между двумя или более энергопредприятиями; отключении самого крупного потребителя;
- i) демонстрацию наличия у каждого внеплощадочного источника электроснабжения мощности и ресурса, достаточных для обслуживания всех электропотребителей, необходимых для смягчения последствий всех ожидаемых при эксплуатации событий и проектных аварий.

9.4. В этих демонстрациях должна учитываться работа атомной электростанции во всех режимах.

9.5. Демонстрацию надежности и доступности внеплощадочных цепей следует проводить совместно с оператором системы электропередачи (см. раздел 6).

9.6. Следует проводить систематическую оценку всех систем, важных для безопасности, для подтверждения соответствия их конструкции требованиям надежности, установленным в проектных основах.

9.7. Такое подтверждение посредством систематической оценки всех систем, важных для безопасности, может основываться на сбалансированном применении детерминистических критериев и проведении количественного анализа надежности, учитывающего такие проектные особенности, как, например, резервирование, контролепригодность, виды отказов и строгость аттестации.

9.8. Использование программного обеспечения или сложных многоэлементных логических модулей может создать сложности при подтверждении надежности и чувствительности к отказам по общей причине. Таким образом, подтверждение надежности может зависеть от

гарантий отсутствия ошибок в процессе разработки и реализации проекта. Рекомендации и руководящие указания по данному вопросу содержатся в SSG-39 [2].

9.9. При определении готовности систем к эксплуатации следует учитывать испытательное оборудование, входящее в состав системы безопасности.

9.10. Следует проводить аттестацию аналитических средств, используемых при проектировании и анализе систем электроснабжения, а достоверность математических моделей следует обосновывать экспериментальными данными или опытом эксплуатации.

9.11. Анализы, рекомендованные в пунктах 9.2–9.10, входят в состав оценки безопасности станции. Требования к оценке безопасности изложены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 4 (Rev. 1) «Оценка безопасности установок и деятельности» [18].

Испытания

9.12. В проекте следует предусмотреть выполнение следующих программ испытаний без создания угрозы для безопасности станции при их проведении:

- a) программы предэксплуатационных испытаний для демонстрации, насколько это практически возможно, работы системы во всех режимах (например, в рабочих состояниях и в аварийных условиях), подтверждения выполнения проектных требований и независимости каждой секции от других секций;
- b) программы испытаний в процессе эксплуатации, обеспечивающей необходимую уверенность в готовности систем выполнять свои функции, когда это необходимо;
- c) процедур периодических испытаний для демонстрации постоянной эксплуатационной готовности системы, а также выявления и определения любого ухудшения характеристик системы или компонентов в составе системы.

9.13. Общие рекомендации по мерам проверки адекватности проекта приводятся в пунктах 5.114–5.134 GS-G-3.5 [17].

9.14. Один из важных моментов, учитываемых в программах предэксплуатационных испытаний систем электроснабжения атомных электростанций, — это подтверждение независимости секций систем надежного электроснабжения перед вводом в эксплуатацию и после проведения крупных модификаций. Как правило, это включает в себя испытания для подтверждения того, что все внутриплощадочные системы электроснабжения и группы их потребителей могут успешно функционировать и что их никоим образом не затронет частичный или полный отказ любого иного источника электроснабжения в других секциях.

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

9.15. В состав документации по системам электроснабжения следует включать следующие документы:

- a) проектные основы;
- b) описание всей системы электроснабжения, включая:
 - i) детальную информацию о подключении атомной электростанции к энергосети;
 - ii) уточнение степени резервирования системы надежного электроснабжения;
 - iii) определение устройств сопряжения с системами собственных нужд;
- c) описание критериев разделения при монтаже оборудования, прокладке кабелей и кабельных каналов, включая электропроводку и компоненты внутри панелей;
- d) однолинейные схемы, функциональные схемы управления, принципиальные схемы, схемы электрических подключений, схемы щитовой электропроводки и описания систем;
- e) схемы компоновки внутриплощадочной системы электроснабжения с указанием мест расположения оборудования и связанных с ним вспомогательных систем;
- f) схемы кабельных трасс, включая расположение лотков, кабелепроводов и каналов на всей станции, а также обозначение резервных секций и маркировку кабелей и их трасс;
- g) схемы кабельных каналов, показывающие кабели, содержащиеся во всех сегментах кабельных каналов, и процент заполнения каждого сегмента;

- h) схемы электрических цепей с указанием для каждого полевого кабеля точек его подключения, типа кабеля и трассировки по системе кабельных каналов;
- i) анализ электропотребителей с указанием их общего перечня, а для систем надежного электроснабжения — с указанием зависящего от времени нагружения, на основании которого рассчитываются характеристики необходимых компонентов систем электроснабжения;
- j) эксплуатационные регламенты и инструкции по техническому обслуживанию электроэнергетических систем и оборудования;
- к) требования к периодическим испытаниям и техническому обслуживанию электроэнергетических систем и оборудования;
- л) документация приемочных и пусконаладочных испытаний электроэнергетических систем и оборудования;
- м) документация по менеджменту качества;
- п) анализы переходных режимов, связанных с изменениями напряжения и частоты, а также расчеты коротких замыканий и просадок напряжения:
 - i) от энергосети при работе на мощности;
 - ii) от внутримощающей электрической распределительной системы;
 - iii) от энергосети во время останова;
 - iv) от турбогенератора;
- о) исследования стабильных нагрузок и профилей напряжения, показывающие напряжения в системе электроснабжения при различных режимах эксплуатации станции (и коэффициент спроса генератора), в том числе во время проектных событий, при нормальной эксплуатации и в условиях деградации напряжения;
- р) исследования переходных нагрузок и напряжений, показывающие профиль нагрузок, последовательно применяемых к предпочтительным и резервным источникам электроснабжения в различных режимах эксплуатации станции;
- с) исследование переключений по шинам, в котором анализируется воздействие напряжения, фазового угла, частоты, а также влияние повторного ускорения двигателя на шины и двигатели до начала, во время и непосредственно после автоматических переключений по шинам;
- г) исследования коротких замыканий для определения максимальных и минимальных токов коротких замыканий во всей системе электроснабжения в различных режимах работы станции, включая проектные события, для использования при анализе возможностей устранения неисправностей электрооборудования;

- s) исследование согласованности работы защитных устройств и исследование защиты оборудования, демонстрирующее правильность выбора уставок во всех схемах защиты;
- t) анализ емкости хранилища топлива для резервных источников электроснабжения;
- u) анализ последствий частичной или полной потери источников электроснабжения;
- v) планы аттестации оборудования, анализы и протоколы испытаний;
- w) технические условия на компоненты систем электроснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, МАГАТЭ, Вена (2018).
- [3] АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Revision 5), Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 13, МАГАТЭ, Вена (2012).
- [4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.7, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna (2004).
- [7] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, NS-G-1.6, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [8] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.5, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [9] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Управление старением атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.12, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [10] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Эксплуатирующая организация для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.4, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [12] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.6, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [13] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Ведение эксплуатации атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.14, МАГАТЭ, Вена (2008).

- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.8, IAEA, Vienna (2012).
- [15] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-3, МАГАТЭ, Вена (2008). (Готовится к выпуску новая редакция этой публикации под условным обозначением GSR Part 2.)
- [16] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение системы управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2009).
- [17] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.5, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [18] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 4 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).

Приложение I

ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

I–1. Электроэнергия используется на атомных электростанциях для выполнения различных функций безопасности, и надежность источников электроснабжения имеет важное значение для безопасности станции. В силу конструкции систем энергоснабжения все компоненты систем обычно подключены, независимо от их классификации по безопасности.

I–2. Системы электроснабжения — это обеспечивающие системы, которые необходимы на всех уровнях глубокоэшелонированной защиты. Наличие надежного электроснабжения на станции необходимо для контроля ожидаемых отклонений от нормальной эксплуатации, а также для питания, управления и контроля станции при возникновении событий всех типов, создающих угрозу для барьеров на пути радиологических выбросов, а также в запроектных условиях.

I–3. На любое событие или нарушение, происходящее в системах электроснабжения, следует реагировать таким образом, чтобы обеспечить выполнение функций безопасности на станции.

I–4. Как отмечается в [I–1], опыт эксплуатации показывает, что отключение систем электропередачи или неисправности в системах внутривыгодного энергоснабжения могут создать угрозу безопасности станции.

I–5. Многие дублирующие друг друга системные характеристики, предусмотренные для создания надежных и устойчивых в эксплуатационном отношении систем электроснабжения, образуют различные уровни глубокоэшелонированной защиты. Эти системные характеристики относятся к энергосетям и внутривыгодным системам — как важным, так и не важным для безопасности. Хотя к системам надежного электроснабжения применяются более строгие критерии и они требуют проведения верификации в большем объеме, свой вклад в надежность и эксплуатационную устойчивость систем надежного электроснабжения вносят все внутривыгодные и невыгодные системы электроснабжения.

I–6. Обеспечивающими функциями систем электроснабжения являются управление и контроль, реализуемые в составе комплекса блочного и дополнительных пунктов управления, а также процедуры обеспечения работы энергетических систем во всех состояниях станции и при всех событиях, связанных с электричеством.

I–7. В таблице I–1 обобщены характеристики систем электроснабжения, обеспечивающих реализацию уровней глубокоэшелонированной защиты, указанных в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSR-2/1 (Rev. 1) «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [I–2].

ПЕРВЫЙ УРОВЕНЬ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

Проектные основы

I–8. Проектные основы внутривыделенных систем электроснабжения — это фундамент их надежности и эксплуатационной устойчивости. В проектных основах учитываются диапазоны напряжения и частоты в режиме непрерывной работы, все возможные события, которые могут вызвать их переходные, динамические или постоянные изменения, а также внутренние и внешние опасности, угрожающие доступности электроснабжения станции. Поскольку атомная электростанция — это энергогенерирующая установка, изменения напряжения и частоты, происходящие на ней вследствие различных событий, отличаются от изменений, вызываемых обычными промышленными процессами.

I–9. Неполноту проектных основ, вследствие которой оборудование не проходит аттестацию для выполнения заданной функции, нельзя компенсировать за счет резервирования или неодинаковости.

Энергосеть

I–10. Энергосеть — это часть предпочтительного источника электроснабжения атомной электростанции и систем надежного электроснабжения. Во время работы на мощности питание станции, как правило, осуществляется от генератора, который сглаживает колебания, возникающие в сети.

ТАБЛИЦА 1–1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ДЛЯ НУЖД ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ СТАНЦИИ

| Уровни глубоко эшелонированной защиты | Цель [1–2] | Необходимые средства [1–2] | Применяется к системам электроснабжения станции | Руководящие указания в настоящем Руководстве по безопасности (раздел) |
|---------------------------------------|--|---|--|--|
| 1 | Предотвращение отклонений от нормальной эксплуатации и отказов | Консервативный проект и высокое качество при строительстве и эксплуатации | Комплектные проектные основы, устойчивая в эксплуатационном отношении и надежная энергосеть, устойчивые и надежные внутримощадачные системы электроснабжения | 4. Проектные основы 5. Общие руководящие принципы проектирования 6. Руководящие принципы проектирования предпочтительных источников электроснабжения |
| 2 | Контроль отклонений от нормальной эксплуатации и обнаружение отказов | Управляющие, ограничивающие и защитные системы и иные средства контроля | Устойчивая в эксплуатационном отношении и надежная система устранения неисправностей и согласованность мер защиты, возможность переключения электроснабжения и работы на собственные нужды | 5.1. Проектирование в целях обеспечения надежности 6. Руководящие принципы проектирования предпочтительных источников электроснабжения |

ТАБЛИЦА 1–1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ДЛЯ НУЖД ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ СТАНЦИИ (продолжение)

| Уровни глубоко эшелонированной защиты | Цель [1–2] | Необходимые средства [1–2] | Применяется к системам электроснабжения станции | Руководящие указания в настоящем Руководстве по безопасности (раздел) |
|---------------------------------------|---|---|---|--|
| 3 | Управление проектными авариями | Инженерно-технические средства безопасности и регламенты действий в аварийных ситуациях | Устойчивые в эксплуатационном отношении и отказоустойчивые системы надежного электроснабжения, устойчивые и надежные внутриплощадочные резервные источники переменного тока | 7. Руководящие принципы проектирования систем надежного электроснабжения |
| 4 | Управление тяжелыми ситуациями на станции, включая предотвращение развития аварии и смягчение последствий проектных условий | Дополнительные меры и управление авариями | Устойчивое и надежное альтернативное электроснабжение переменного тока | 7. Руководящие принципы проектирования систем надежного электроснабжения |
| 5 | Смягчение радиологических последствий значительных радиоактивных выбросов | Противоаварийное реагирование вне площадки | 8. Альтернативные источники электроснабжения переменного тока | 8. Альтернативные источники электроснабжения переменного тока |
| | | | (Не рассматривается в настоящем Руководстве по безопасности) | |

I-11. Энергосеть должна обеспечивать стабильное электроснабжение от внеплощадочного источника, то есть, она должна быть способна выдерживать изменения нагрузок и ожидаемые при эксплуатации события в системе электропередачи без превышения заданных пределов по напряжению и частоте. На рис. I-1 приводится пример изменений напряжения и частоты, влияющих на внутривнутриплощадочные системы электроснабжения на энергоблоке атомной электростанции во время ожидаемых при эксплуатации событий. Дополнительная информация об интеграции атомных электростанций и энергосети содержится в документе Серии изданий МАГАТЭ по атомной энергии, № NG-T-3.8 «Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants» («Надежность энергосети и ее сопряжение с атомными электростанциями») [I-3].

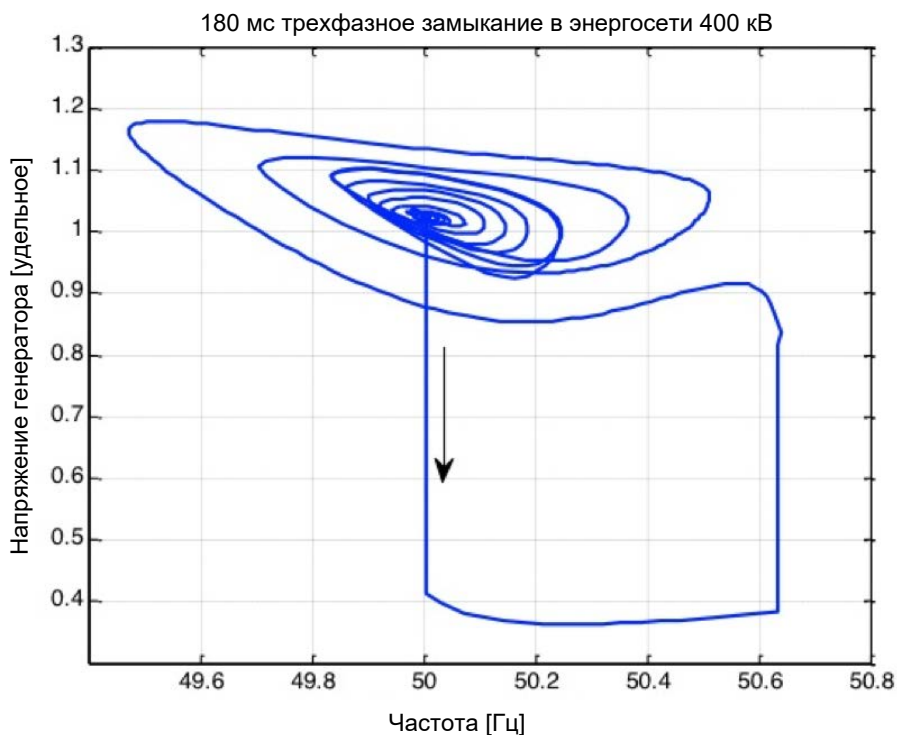


РИС. I-1. Пример изменения напряжения расположенного на площадке генератора (ось Y) и частоты (ось X) во время устранения неисправности в системе электропередачи.

Внутриплощадочные системы электроснабжения

I–12. Внутриплощадочные системы электроснабжения взаимосвязаны, и в большинстве случаев событие, связанное с электроснабжением шины, не относящейся к системам безопасности, также оказывает влияние и на системы надежного электроснабжения. Надежная внутриплощадочная система электроснабжения подразумевает конфигурацию с низкой вероятностью отказа потребителей и другого оборудования. Данный аспект в значительной мере регулируется национальными электрическими нормами и правилами, но аттестация оборудования (экологическая и электрическая), а также технические условия оборудования, соответствующие проектным основам, также способствуют достижению такого состояния. Надлежащее содержание площадки снижает риск возникновения неисправностей, а правильное понимание поведения потребителей сводит к минимуму риск перегрузки вращающегося оборудования.

I–13. Детерминистический анализ при проектировании и верификации надежности и эксплуатационной устойчивости внутриплощадочной системы является составной частью обоснования безопасности атомной электростанции.

I–14. Эксплуатационную устойчивость и надежность внутриплощадочных систем электроснабжения необходимо проанализировать для всех конфигураций станции, включая те, в которых часть системы электроснабжения может отключаться, например в связи с остановами для перегрузки топлива.

I–15. Полностью исключить вероятность отказов по общей причине невозможно, поскольку в процессе нормальной эксплуатации резервные секции системы надежного электроснабжения подключены к общему предпочтительному источнику электроснабжения. Важное значение имеют предупредительные меры, такие как обеспечение неодинаковости источников электроснабжения (как правило, это функция, предусмотренная проектом).

I–16. Программы и регламенты технического обслуживания ориентированы на соблюдение наивысших стандартов не только для систем безопасности, но и для всех частей системы внутриплощадочного электроснабжения. Контрольные испытания или эксплуатационные испытания — это один из способов контроля за ухудшением характеристик оборудования.

I–17. Как правило, модификации на станции оказывают влияние на системы электроснабжения. Необходимо оценить изменения, связанные с потребителями и их поведением. Это включает изменения в системах управления, поскольку такие изменения могут повлиять на нагрузку на аккумуляторные батареи.

I–18. Источники электроснабжения для освещения и телекоммуникаций играют важную роль в реагировании на эксплуатационные нарушения и события, хотя они, как правило, и не классифицируются как важные для безопасности.

ВТОРОЙ УРОВЕНЬ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

Система устранения неисправностей и согласованность защиты

I–19. В целях минимизации воздействия неисправностей в системах электроснабжения обеспечивается согласованность работы систем защиты и устранения неисправностей, которые отключают только неисправное оборудование. Кроме того, предусматриваются функции резервирования на случай отказа основной функции защиты или устройства устранения неисправностей.

I–20. Поскольку зарядные устройства аккумуляторных батарей, инверторы и мотор-генераторные агрегаты, как правило, являются источниками ограниченного тока короткого замыкания, особое внимание уделяется согласованности защитных устройств и возможности возникновения токов короткого замыкания.

I–21. В проекте предусматривается согласованность мер защиты как при работе на мощности, так и в условиях останова.

Возможность переключения источников электроснабжения

I–22. Как правило, внеплощадочное электроснабжение обеспечивается как минимум двумя физически независимыми внеплощадочными сетями, которые спроектированы и расположены таким образом, чтобы по возможности уменьшить вероятность их одновременного отказа. Для некоторых конструкций реакторов (как правило, конструкций с пассивными

средствами защиты) в отчете по обоснованию безопасности можно показать, что достаточно только одного подключения к внеплощадочному источнику электроснабжения.

I–23. Согласно проекту, одно из таких подключений должно быть доступным в течение нескольких циклов после аварии с потерей теплоносителя для обеспечения охлаждения активной зоны, сохранения целостности гермооболочки и других жизненно важных функций безопасности.

I–24. Переключение на другую внеплощадочную линию, как правило, производится автоматически, однако предусматривается возможность переключения как в ручном, так и в автоматическом режиме. Выполняются исследования, анализирующие влияния напряжения, фазового угла и частоты на шины и двигатели до начала, во время и непосредственно после переключений по шинам. В таких исследованиях необходимо также учитывать влияние повторного ускорения двигателей.

I–25. Обеспечение бесперебойного электроснабжения переменного тока также предусматривает возможность переключений между источниками электроснабжения.

Возможности для работы на собственные нужды

I–26. Проекты некоторых станций предусматривают возможность сброса нагрузки без останова реактора или отключения турбогенератора для продолжения работы на собственные нужды.

I–27. Переход в режим работы на собственные нужды сложен из-за обратной связи по реактивности и регулирования снижения мощности. Опыт показывает, что при успешном прохождении начального этапа переходного режима можно продолжать работу в течение нескольких часов, что дополнительно способствует неодинаковости источников электроснабжения станции.

I–28. Чтобы обеспечить работу на собственные нужды, необходимы автоматические выключатели для отключения турбогенератора станции от энергосети. Данная схема обеспечивает непрерывность электроснабжения от турбогенератора станции либо от энергосети во всех условиях, за исключением условий, связанных с отказами переключений между выключателями или возникновением одновременных отказов в турбогенераторе и в энергосети.

ТРЕТИЙ УРОВЕНЬ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

Внутриплощадочные резервные источники электроснабжения переменного тока

I–29. В условиях нормальной эксплуатации системы безопасности атомной электростанции работают от предпочтительного источника электроснабжения (т.е. энергосети или турбогенератора) или от внутриплощадочного резервного источника электроснабжения переменного тока.

I–30. Работоспособность резервных источников переменного тока следует регулярно проверять. Как правило, проведение испытаний срабатывания на пуск резервных источников электроснабжения переменного тока планируется таким способом, который не окажет неблагоприятного воздействия на долгосрочную доступность источников электроснабжения.

I–31. Для учета проектных событий проверку способности резервных источников переменного тока к срабатыванию на пуск и нагружению, как правило, необходимо выполнять, используя как результаты испытаний, так и аналитические методы.

I–32. Системы надежного электроснабжения могут обслуживать потребителей, не относящихся к системам безопасности. При отключении внеплощадочного электроснабжения такие потребители не запускаются автоматически, поскольку это может повлиять на доступность потребителей систем безопасности. Пуск потребителей, не относящихся к системам безопасности, можно производить только после подтверждения наличия достаточной мощности и ресурса для их запуска и эксплуатации.

I–33. Если какая-либо внешняя опасность может поставить под угрозу первый и второй уровни глубокоэшелонированной защиты систем электроснабжения (например, подключения к энергосети и потребителей собственных нужд), следует обеспечить защиту от такой опасности внутриплощадочных резервных источников электроснабжения переменного тока. Надлежащие меры предосторожности будут основываться на критериях, рассмотренных в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.5 «Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций» [I–4] и № NS-G-1.6 «Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций» [I–5].

Системы надежного электроснабжения

I–34. Системы надежного электроснабжения, обслуживающие различных потребителей, представляют особую важность с точки зрения способности атомной электростанции противостоять воздействию широкого спектра исходных событий, которые могут угрожать барьерам на пути выброса радиоактивных материалов со станции.

I–35. События в системах электроснабжения, начинающиеся в предпочтительных источниках электроснабжения, могут стать причиной отказов по общей причине во всех секциях. Поэтому при проектировании, строительстве и эксплуатации необходимо принимать надлежащие контрмеры. После потери предпочтительных источников электроснабжения, когда каждый резервный источник переменного тока обслуживает только одну секцию, риск отказа по общей причине из-за событий, связанных с электричеством, ничтожно мал ввиду отсутствия общих частей (хотя пусковая последовательность резервного источника чувствительна к отказу по общей причине). Опыт показывает, что неполнота проектных основ является доминирующим фактором, способствующим отказу по общей причине, и в этом случае неодинаковость компонентов не уменьшает риска.

I–36. Отказ по общей причине идентичных компонентов можно исключить, если:

- а) они выполняют разные функции (один выключатель в одной системе имеет функцию размыкания, один выключатель в другой системе имеет функцию замыкания);
- б) они имеют разные режимы эксплуатации (один из двух параллельных выпрямителей работает, а другой отключен).

Отказ по общей причине из-за событий, связанных с электричеством, не постулируется для пассивного оборудования, такого как шинопроводы, кабели и трансформаторы.

I–37. Системы постоянного тока имеют важное значение для безотказности систем надежного электроснабжения, а также для надежности любых других внутриплощадочных и внеплощадочных систем электроснабжения. Согласно правилу, никакие нарушения на предпочтительном источнике электроснабжения, начавшиеся за пределами площадки или исходящие от генератора в результате нарушения в работе за пределами площадки, не должны передаваться на системы электроснабжения постоянного тока и,

следовательно, на системы бесперебойного электроснабжения переменного тока. Предполагается, что такое правило должно быть предусмотрено в проектных основах, и его соблюдение возможно за счет использования проектных мер или защитных устройств.

I–38. Для предупреждения риска отказа по общей причине электронных защитных устройств используются те же критерии проектирования, что и для оборудования систем контроля и управления [I–6].

I–39. В составе технических условий на электропотребителей указывается рабочий диапазон напряжения и частоты систем электроснабжения, однако знание электрических переходных процессов и их влияния на потребителей также важно. Понимание характеристик механических нагрузок необходимо для определения диапазона нагрузок и потребления энергии в разных режимах эксплуатации. Это дает возможность определить надлежащие параметры резервных источников электроснабжения и нужные уставки срабатывания защитных устройств.

ЧЕТВЕРТЫЙ УРОВЕНЬ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

Альтернативные источники электроснабжения переменного тока

I–40. Зависимость выполнения функций безопасности на атомной электростанции от электроэнергии подразумевает необходимость учета сценариев обесточивания станции. Учет обесточивания станции подразумевает определение периода времени, в течение которого станция может выдержать отключение всего электроснабжения переменного тока, и принятие мер по подключению к станции альтернативного источника электроснабжения переменного тока до окончания этого периода.

I–41. Необходимо принимать меры предосторожности для обеспечения доступности и готовности такого альтернативного источника электроснабжения переменного тока, его способности противостоять внешним опасностям и возможности его подключения к станции в течение заданного периода времени, например после землетрясения или цунами либо во время наводнения или урагана.

I–42. Необходимо в максимально возможной степени обеспечить независимость альтернативного источника переменного тока от других источников электроснабжения, которые могут обслуживать системы надежного электроснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ К ПРИЛОЖЕНИЮ I

- [I–1] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Defence in Depth of Electrical Systems and Grid Interaction, Final DIDEISYS Task Group Report, NEA/CSNI/R(2009)10, OECD, Paris (2009).
- [I–2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).
- [I–3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.8, IAEA, Vienna (2012).
- [I–4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.5, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [I–5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Набор, квалификация и подготовка персонала для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, NS-G-2.8, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [I–6] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, МАГАТЭ, Вена (2018)

Приложение II

АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОЕКТА

II-1. Аналитические исследования проводятся для демонстрации расчетных запасов и надежности систем электроснабжения атомной электростанции. Возможности анализа и проектирования нужно верифицировать и валидировать испытаниями или опытом эксплуатации. В Приложении II описаны некоторые ключевые элементы проектирования электроэнергетической системы, которые обычно выполняются в рамках анализа энергосистемы. Необходимость анализа относится как к энергосистемам переменного, так и постоянного тока, однако многие из рассмотренных конкретных тем относятся только к энергосистемам переменного тока.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

II-2. Анализ потокораспределения является важной частью исследований системы электроснабжения, поскольку в его рамках производится оценка сети в нормальных и аварийных условиях эксплуатации и устанавливаются граничные пределы. Исследования потокораспределения выполняются с использованием программного обеспечения, которое моделирует фактические установившиеся условия работы систем электроснабжения, что позволяет оценить амплитуду напряжения на шинах и угол нагрузки, потоки активной и реактивной мощности, а также потери. Проведение исследования потокораспределения с использованием нескольких сценариев помогает удостовериться в том, что система электроснабжения спроектирована надлежащим образом и соответствует эксплуатационным критериям. В частности, исследования потокораспределения обычно используются для изучения:

- a) нагрузки на компонент или на цепь;
- b) амплитуды напряжения на шинах и угла нагрузки;
- c) потока активной и реактивной мощности;
- d) потерь в системе электроснабжения;
- e) правильности настройки ответвлений трансформатора;
- f) граничных пределов работы системы;
- g) схемы переключений на шинах;
- h) оптимизации использования цепи;

- i) практических профилей напряжения для постулируемых условий;
- j) инструкций по техническим условиям на оборудование.

II-3. Следующие общие критерии проектирования, как правило, считаются приемлемыми при использовании в исследованиях потокораспределения:

- a) падение напряжения в установившемся режиме на всех шинах не должно превышать $\pm 5\%$ от номинального значения во всех рассматриваемых условиях эксплуатации;
- b) изменение напряжения в переходном состоянии $> 5\%$ может быть приемлемым при последовательном подключении нагрузок;
- c) перегрузка электрических цепей не происходит ни при каких постулируемых условиях эксплуатации;
- d) потоки реактивной мощности (генерация, импорт и экспорт) во всех условиях эксплуатации остаются в заданных пределах:
 - i) в заданных нештатных ситуациях качество электроэнергии не ухудшается;
 - ii) содержание гармоник остается в установленных пределах.

II-4. При изучении потокораспределения конкретно рассматриваются следующие случаи:

- a) экстремальные условия эксплуатации с максимальной и минимальной нагрузкой для проверки адекватности внеплощадочных и внутриплощадочных источников электроснабжения в режиме нормальной эксплуатации и при останове станции;
- b) непредвиденные ситуации, такие как отключение линий, трансформаторов и генераторов внеплощадочного электроснабжения в сочетании с минимальной и максимальной нагрузкой систем собственных нужд станции, включая оборудование, необходимое для смягчения радиологических последствий какого-либо инцидента;
- c) оптимизация рабочих параметров станции, таких как ответвления трансформатора, пределы возбуждения генератора, компенсация реактивной мощности и размеры кабеля;
- d) пуски крупных двигателей: пусковой ток большинства двигателей переменного тока при их прямом запуске при полном номинальном напряжении в несколько раз превышает нормальный ток полной нагрузки. Чрезмерно высокий пусковой ток приводит к падению напряжения на клеммах и может привести к сбою запуска двигателя из-за малых пусковых моментов, ненужному срабатыванию реле пониженного напряжения, а также к остановке других работающих

двигателей, подключенных к сети. Исследования запуска двигателя могут помочь в выборе наилучшего метода пуска, правильной конструкции двигателя и надлежащей конструкции системы для минимизации воздействия запуска двигателя. В зависимости от характеристик двигателя такое исследование может потребовать проведения повторной оценки после замены двигателей.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

II–5. Расчеты короткого замыкания дают возможность определить значения тока и напряжения в системе электроснабжения в условиях короткого замыкания. Эта информация необходима для проектирования надлежащей системы релейной защиты, определения требований к отключению автоматических выключателей на каждом уровне напряжения при максимальных уровнях тока короткого замыкания, а также для проверки своевременности устранения неисправностей при наличии достаточного тока короткого замыкания для срабатывания релейной защиты с использованием защитных устройств. Сочетание своевременной изоляции короткого замыкания и согласованного срабатывания защитных устройств обеспечивает устойчивую работу системы электроснабжения атомной электростанции. Необходимо учитывать влияние коротких замыканий от всех действующих источников в любой момент времени. На атомных электростанциях используются крупные двигатели, которые вносят существенный вклад в токи короткого замыкания, возникающие в системах электроснабжения станции. Расчеты коротких замыканий необходимо подтверждать при проведении крупных замен и крупных модификаций системы электроснабжения (внутриплощадочной и внеплощадочной), и периодически необходимо проводить комплексную оценку.

II–6. Короткие замыкания могут быть симметричными или несимметричными, а также серийными (с обрывом проводника). Короткие замыкания могут быть вызваны замыканиями на землю, замыканиями между проводниками, обрывом проводников в одной или нескольких фазах.

II–7. Исследования коротких замыканий необходимо актуализировать при проведении крупных замен и крупных модификаций системы электроснабжения (внутриплощадочной или внеплощадочной), и периодически необходимо проводить комплексную оценку (например, в рамках периодической экспертизы безопасности).

ИССЛЕДОВАНИЯ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

П–8. В результате исследований коротких замыканий и согласованности мер защиты устанавливается величина токов, проходящих по системе электроснабжения через различные интервалы времени после возникновения короткого замыкания, а также оцениваются параметры и уставки срабатывания защитных устройств системы, таких как реле, предохранители и автоматические выключатели, а также цепей, которые они защищают. Цель состоит в том, чтобы обеспечить необходимую защиту силовых трансформаторов, распределительных устройств, центров управления двигателями, распределительных щитов и другого электрооборудования. Это исследование также полезно при выборе подходящих типов, номинальных значений тока и уставок срабатывания устройств для обеспечения избирательного и быстрого размыкания цепи в условиях перегрузки и короткого замыкания с целью свести к минимуму изоляцию основного оборудования.

П–9. Реле защиты предназначены для быстрого приведения в действие оборудования, которое используется для изоляции неисправной части системы, чтобы предотвратить повреждение оборудования и с минимальным нарушением работы системы обеспечить непрерывность электроснабжения незатронутых частей энергосистемы. Если постулируется отказ реле, предназначенных для защиты конкретного оборудования, такого как проходки в гермооболочке, или если замыкание не устраняется в их первичной зоне защиты, короткое замыкание должно быть изолировано при помощи реле резервной защиты после того, как будет выделено достаточное время для срабатывания защитных реле в первичной зоне. Кроме того, защитные реле должны различать условия короткого замыкания, условия нормальной эксплуатации и отклонения от условий нормальной эксплуатации, а также обеспечивать выполнение именно той защитной функции, на которую они рассчитаны. В расчете согласованности срабатывания реле учитываются эксплуатационные характеристики реле, характеристики нормальной эксплуатации и устойчивости оборудования станции, а также определяются оптимальные уставки срабатывания реле для обеспечения высокой надежности электрических систем.

П–10. Системы защиты должны обеспечивать защиту от предельных тепловых нагрузок, остановки двигателя, условий обратной последовательности и предельных нагрузок постоянного тока, защиту от аномальных частот и от «дисбаланса» условий эксплуатации, применяемых

к различным компонентам станции и эксплуатационным ситуациям. Согласованность мер защиты подразумевает также учет принципов измерений.

II–11. Типичные исследования защитных реле охватывают:

- a) фазовые реле перегрузки;
- b) реле максимального тока при замыкании фазы;
- c) реле замыкания на землю;
- d) согласование с максимальным током нагрузки;
- e) согласование с характеристиками предохранителя;
- f) согласование с максимальным пусковым током и временем пуска двигателя;
- g) согласование с пусковым током трансформатора;
- h) согласование с токами повторного ускорения;
- i) согласование с основными резервными парами;
- j) согласование по максимальным тепловым нагрузкам;
- k) согласование по пределам безопасного отключения двигателей.

II–12. Защита от замыканий на землю требует особого рассмотрения, поскольку величины токов короткого замыкания зависят от способа заземления системы: глухозаземленные системы или низкоимпедансные системы заземления могут характеризоваться высокими уровнями токов замыкания на землю. Как правило, такие высокие уровни требуют быстрого отключения для устранения короткого замыкания в системе. Типичными техническими решениями для защиты от замыканий на землю для таких систем являются реле максимального тока на землю и направленное реле максимального тока. Обнаружение замыканий на землю с высоким сопротивлением затруднено, поскольку для измерения тока замыкания на землю в сочетании с током «несимметрии», генерируемым фазировкой и конфигурацией линии, а также «несбалансированностью» нагрузки требуются специальные реле.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

II–13. В дополнение к схемам защиты, рассмотренным выше, оборудование систем безопасности на атомных электростанциях защищено от полного отключения предпочтительного источника электроснабжения (реле защиты от потери напряжения) на шинах безопасности, а также

от условий устойчивого снижения напряжения на предпочтительном источнике электроснабжения, которое может привести к возникновению неисправностей или повреждению оборудования, важного для безопасности.

П–14. Оборудование, считающееся важным для безопасности, следует защищать от двух типов событий, связанных с низким напряжением, которые описаны ниже.

- 1) Оборудование, важное для безопасности, следует защищать от потери напряжения, которая означает внезапное резкое падение напряжения в энергосети. Как правило, допускается номинальная задержка срабатывания реле для отключения шин на станции от энергосети, если напряжение не возвращается в диапазон нормальных рабочих значений. Кроме того, потеря напряжения дает сигнал к автоматическому запуску резервных источников электроснабжения на площадке.
- 2) Оборудование, важное для безопасности, также должно быть защищено от снижения напряжения, которое означает сохранение низкого напряжения в течение нескольких секунд и его последующее восстановление до нормальных значений рабочего диапазона. Если внеплощадочная система электроснабжения не восстанавливается до номинальных рабочих условий, желательно отключить этот источник электроснабжения.

Снижение напряжения возникает в системах электропередачи, перегруженных из-за дефицита генерации вследствие отключения генерирующего блока, непредвиденных нагрузок на систему, потери какого-либо элемента электропередачи или неисправностей системы. Такая защитная схема требует дополнительного учета специфики конкретной станции. Общий подход описывается ниже.

- a) Исследования падения напряжения и/или потокораспределения, проведенные для оценки сопряжения внутрислощадочной и внеплощадочной систем электроснабжения с использованием минимального расчетного напряжения на узле сопряжения станции и энергосети, демонстрируют надлежащее напряжение для пуска и работы компонентов станции в условиях нормальной эксплуатации, во время ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях.

- b) Выбор уставок напряжения и времени срабатывания определяется на основе анализа требований к рабочему напряжению важных для безопасности потребителей на всех уровнях внутрисплощадочной системы распределения.
- c) Время срабатывания выбирается на основе следующих условий:
 - i) допустимое время срабатывания с учетом запаса не должно превышать максимального времени срабатывания, принятого при анализе аварий;
 - ii) время срабатывания должно компенсировать эффект от ожидаемых кратковременных нарушений в энергосети, сохраняя доступность внеплощадочных источников электроснабжения;
 - iii) продолжительность условий снижения напряжения на всех уровнях распределительной системы не должна приводить к отказам систем безопасности или их компонентов.

П–15. Типичная схема реле пониженного напряжения подразумевает наличие двух отдельных реле с выдержкой времени для выполнения следующих условий:

- a) продолжительность первой задержки достаточна, чтобы установить существование устойчивого состояния пониженного напряжения (т.е. чего-то более длительного, чем переходный процесс из-за запуска двигателя). После этой задержки сигнализация на пункте управления предупреждает операторов пункта управления о снижении напряжения. При последующем аварийном сигнале происходит немедленное отключение распределительной схемы систем безопасности от внеплощадочной системы электроснабжения;
- b) продолжительность второй временной задержки выбирается меньшей, чем продолжительность устойчивого состояния пониженного напряжения, которое может привести к повреждению постоянно подключенных потребителей систем безопасности. После этой задержки, если надлежащее напряжение не восстанавливается, распределительная схема систем безопасности автоматически или вручную (действиями оператора) отключается от внеплощадочной системы электроснабжения.

ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ

П–16. В силу своей природы система электроснабжения постоянно испытывает воздействие возмущений. К числу таких возмущений могут относиться потери генерации, короткие замыкания, вызванные ударами молний или другими повреждениями, внезапные резкие изменения нагрузки или комбинация этих событий. Такие возмущения могут привести к изменению конфигурации системы электроснабжения. Исследования устойчивости системы электроснабжения к переходным процессам необходимы для определения возможности сохранения стабильности системы после таких серьезных возмущений. Предполагаемое критическое время устранения отказа⁴ при заданной конфигурации системы внеплощадочного электроснабжения различно для разных типов отказа. Критическое время устранения отказа может быть указано и описано в отчете по обоснованию безопасности атомной электростанции. Восстановление системы электроснабжения, подвергшейся воздействию серьезного возмущения, имеет важное значение для надежной и безопасной эксплуатации станции. Как правило, система проектируется и эксплуатируется таким образом, чтобы определенное количество вероятных непредвиденных ситуаций не приводило к ухудшению качества и нарушению непрерывности электроснабжения потребителей. Для этого необходим точный расчет динамического поведения системы, включающий электромеханические динамические характеристики вращающихся механизмов, органов управления генераторами, компенсаторов реактивной мощности, потребителей, защитных систем и других органов управления. Степень стабильности системы — важный фактор при определении эксплуатационных характеристик энергосети вблизи атомной электростанции. Возмущения в энергосети, которые приводят к потере синхронизации системы электроснабжения, требуют быстрого устранения во избежание повреждения оборудования или потери устойчивости системы.

П–17. К числу параметров, которые могут оказать влияние на устойчивость к переходным процессам, относятся:

- а) параметры синхронных машин;
- б) сопротивление повышающего трансформатора генератора;

⁴ «Критическое время устранения отказа» — это максимальная продолжительность времени отказа, в течение которого система сохраняет стабильность.

- c) инерционность турбогенератора;
- d) параметры линии электропередачи;
- e) характеристики автоматического выключателя и реле;
- f) компоновка системы;
- g) характеристики системы возбуждения, стабилизатора системы электроснабжения и регулятора генератора;
- h) заземление системы;
- i) средства управления системой, такие как автоматическое повторное включение автоматических выключателей, однополюсное переключение, сброс нагрузки и инерция системы.

II–18. Как правило, анализ устойчивости к переходным процессам предполагает:

- a) моделирование поведения генераторов в соответствии с их стационарными, переходными и субпереходными параметрами;
- b) моделирование переходных процессов при трехфазных замыканиях или замыканиях на землю;
- c) моделирование работы двигателя и крутящего момента двигателя, кривых фазировки, тока и ускорения;
- d) моделирование запусков генераторов и двигателей;
- e) моделирование отключения и замыкания автоматических выключателей, размыкания и замыкания переключателей и действий реле на основе заданных уставок;
- f) построение кривых скорости генератора и двигателя, тока, напряжения и мощности после постулируемых возмущений.

II–19. Рабочие характеристики автоматического выключателя, поведение синхронной электрической машины и сопряжение систем можно оптимизировать с помощью компьютерного анализа устойчивости к переходным процессам.

ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ

II–20. Система молниезащиты — это система, предназначенная для защиты конструкции от повреждений вследствие ударов молнии за счет перехвата таких ударов и безопасной передачи их разрядов, характеризующихся чрезвычайно высокими напряжениями, на землю. Напряжение от удара молнии возрастает очень быстро, обычно достигая пика за несколько миллионных долей секунды. Энергию удара молнии

необходимо очень быстро перенаправить на землю по пути с низким сопротивлением, чтобы предотвратить повреждение оборудования и травмирование персонала.

П–21. Большинство наружных систем молниезащиты состоят из молниеуловителя, токоотвода и заземляющего вывода, включая сеть молниеотводов, металлических проводников и заземляющих электродов, соединенных с сетью заземления станции, чтобы обеспечить для разрядов молнии путь к земле с низким сопротивлением. В состав внутренней системы молниезащиты входит схема уравнивания потенциалов молний, электрическая изоляция наружной системы и устройство защиты от импульсного перенапряжения.

П–22. На любой электростанции, как правило, существуют четыре концептуально идентифицируемые, но необязательно физически разделенные системы заземления: для защиты персонала, для защиты от ударов молний, для систем электроснабжения и для систем контроля и управления, включая заземление цепей передачи сигналов. Все системы заземления подключаются к одной заземляющей сети.

П–23. Как правило, в международных технических стандартах содержится рекомендация о том, что сопротивление заземляющего электрода крупных электрических подстанций должно составлять 1 ом или менее.

П–24. К числу факторов, оказывающих влияние на молниезащиту, относятся:

- a) конструкция сети заземления станции;
- b) сопротивление почвы;
- c) конструкция молниеотвода (например, покрытие медью или другими благородными материалами, а также его размеры и глубина).

П–25. Хорошо спроектированная система заземления станции имеет важное значение для защиты силового оборудования станции от замыканий на землю и ударов молнии.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

П-26. Существуют международные технические стандарты электромагнитной совместимости для условий внешней среды промышленных производств. Такие международные технические стандарты можно использовать в качестве основы для формулирования требований по электромагнитной совместимости на атомной электростанции. При необходимости положения этих стандартов могут потребовать дополнения с целью учета требований по электромагнитной совместимости для условий внешней среды компонентов генерирующей атомной электростанции, которые могут быть более жесткими. Результаты такого исследования должны отражать общий уровень эмиссии, ее частотный спектр, а также общий уровень подверженности воздействию с учетом частотного спектра.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Нижеследующие определения применяются для целей настоящего Руководства по безопасности. Другие определения представлены в «Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты» (издание 2007 года), МАГАТЭ, Вена (2008):

<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/7648/IAEA-Safety-Glossary>

Символ ‘Ⓢ’ обозначает информационное примечание.

Альтернативный источник электроснабжения переменного тока.

Источник электроснабжения, зарезервированный для электропитания станции при полной потере всех неаккумуляторных источников в системах надежного электроснабжения (обесточивании станции) и в других запроектных условиях.

Безопасное состояние. Состояние станции после ожидаемого при эксплуатации события или аварийных условий, в котором реактор становится подкритическим и в течение долгого времени может обеспечиваться и оставаться стабильным выполнение фундаментальных функций безопасности⁵.

Контролируемое состояние. Состояние станции после ожидаемого при эксплуатации события или аварийных условий, в котором может обеспечиваться выполнение фундаментальных функций безопасности и которое может сохраняться в течение периода времени, достаточного для осуществления действий по достижению безопасного состояния⁵.

Обесточивание станции. Состояние станции с полной потерей всего электроснабжения переменного тока от внеплощадочных источников, от турбогенератора и от резервных источников электроснабжения переменного тока, важных для безопасности, до шин распределительных устройств ответственных и неответственных потребителей. Может обеспечиваться электроснабжение постоянного

⁵ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).

тока и бесперебойное электроснабжение переменного тока до тех пор, пока аккумуляторные батареи могут обслуживать потребителей. Доступны альтернативные источники электроснабжения переменного тока.

Предпочтительный источник электроснабжения. Подача электроэнергии от системы электропередачи на шины системы электроснабжения, классифицированной по безопасности.

- ① Некоторые части предпочтительного источника электроснабжения не классифицированы по безопасности. (см. рис. 2).

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

| | |
|------------------|--|
| Auvinen, K. | атомная электростанция «Форсмарк», Швеция |
| Diaz, E. | Национальная комиссия по атомной энергии, Аргентина |
| Dubois, A. | Институт радиационной защиты и ядерной безопасности, Франция |
| Duchac, A. | Международное агентство по атомной энергии |
| Fredlund, L. | «Рингхальс», Швеция |
| Frey, W. | «Гезельшафт фюр анлаген унд реакторзихерхайт», Германия |
| Giannelli, I.-A. | Отдел научных исследований и разработок ЭНЕЛ — АТН, Италия |
| Givaudan, B. | «Электрисите де Франс», Франция |
| Goodney, D. | «Констеллэйшн энерджи», Соединенные Штаты Америки |
| Johnson, G. | Международное агентство по атомной энергии |
| Jordan, R. | корпорация «Вестингауз электрик», Соединенные Штаты Америки |
| Kiger, C. | корпорация «Энэлисис энд межермент сервисиз», Соединенные Штаты Америки |
| Kim, B.-Y. | Корейский институт ядерной безопасности, Республика Корея |
| Knutsson, M. | «Рингхальс», Швеция |
| Krastev, E. | атомная электростанция «Козлодуй», Болгария |
| Lamell, P. | атомная электростанция «Форсмарк», Швеция |
| Lindner, L. | «ИСТек», Германия |

| | |
|----------------|--|
| Lochthofen, A. | «Гезельшафт фюр анлаген унд реакторзихерхайт», Германия |
| Matharu, G. | Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки |
| Mathew, R. | Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки |
| Mauhin, B. | «Трактебель инжиниринг ГДФ Суэз», Бельгия |
| Meiss, S. | Федеральное ведомство по радиационной защите, Германия |
| Padin, C. | Национальная комиссия по атомной энергии, Аргентина |
| Rogers, A. | консультант, Канада |
| Sarwar, T. | Пакистанская комиссия по атомной энергии, Пакистан |
| Schnuerer, G. | «ИСТек», Германия |
| Sobott, O. | «АРЕВА», Германия |
| Yonezawa, T. | «Энерджис», Япония |
| Zhu, O.-P. | Корейский институт ядерной безопасности, Республика Корея |



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 27

ЗАКАЗ ПУБЛИКАЦИЙ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ можно приобрести у нашего основного дистрибьютора или в крупных книжных магазинах. Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ.

Заказы на платные публикации

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору либо нашим основным дистрибьютором:

Eurospan

1 Bedford Row
London WC1R 4BU
United Kingdom

Торговые заказы и справочная информация:

Тел.: +44 (0)1235 465576
Эл. почта: trade.orders@marston.co.uk

Индивидуальные заказы:

Тел.: +44 (0)1235 465577
Эл. почта: direct.orders@marston.co.uk
www.eurospanbookstore.com/iaea

Дополнительная информация:

Тел.: +44 (0) 207 240 0856
Эл. почта: info@eurospan.co.uk
www.eurospan.co.uk

Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:

Издательская секция (Publishing Section)
Международное агентство по атомной энергии
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530
Эл. почта: sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

Обеспечение безопасности с помощью международных норм

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА**