ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 62855— 2019

Атомные станции

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Анализ электроэнергетических систем

(IEC 62855:2016, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 322 «Атомная техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 мая 2019 г. № 198-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62855:2016 «Атомные станции. Электроэнергетические системы. Анализ электроэнергетических систем» (IEC 62855:2016 «Nuclear power plants — Electrical power systems — Electrical power systems analysis», IDT)

5 Положения настоящего стандарта действуют в целом в отношении сооружаемых по российским проектам атомных станций за пределами Российской Федерации, а также в отношении сооружаемых на территории Российской Федерации атомных станций в части, не противоречащей требованиям Федеральных норм и правил в области использования атомной энергии

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Обозначения и сокращения 3
5 Анализ электроэнергетических систем 4
5.1 Краткий обзор стандартных исследований 4
5.2 Применимость исследований в отношении различных состояний станции 5
5.3 Выбор, верификация и валидация аналитических инструментов 6
5.4 Модель электроэнергетической системы 7
5.5 Соединение электросети и атомной станции 7
5.6 Обновление исследований системы 7
5.7 Предварительные условия выполнения электрических исследований 8
5.8 Приемочные требования 8
6 Исследование переходных процессов в системе электропередачи атомных станций 8
6.1 Общие положения 8
6.2 Рекомендация 8
6.3 Приемочные требования 8
7 Анализ внутренней электроэнергетической системы переменного тока 9
7.1 Общие положения 9
7.2 Исследование потокораспределения 9
7.3 Исследования переходных процессов 9
7.4 Исследование отказов 13
7.5 Исследования по координации электрической защиты 14
8 Анализ системы постоянного тока и системы бесперебойного питания переменного тока 15
8.1 Исследования потокораспределения 15
8.2 Исследования в переходном режиме 16
8.3 Исследования отказов 17
8.4 Исследования по координации электрической защиты 17
9 Другие аналитические исследования 18
9.1 Исследования молниезащиты 18
9.2 Электромагнитная совместимость 18
9.3 Исследования гармонических волн 19
9.4 Индуцированный геомагнитный ток 19
9.5 Феррорезонасные исследования 19
Приложение A (справочное) Формирование проектных основ для электроэнергетических систем атомных станций 20
Приложение B (справочное) Рекомендации по аналитическим исследованиям 33
Приложение C (справочное) Верификация проектных основ и спецификации оборудования 36
Приложение D (справочное) Пример критериев приемки станции 39
Библиография 40

Введение

a) Технические положения, основные вопросы и организация стандарта

Основной функцией электроэнергетической системы является поддержание безопасной работы атомной станции (NPP) во всех режимах эксплуатации. Подгруппа, в которую входит электроэнергетическая система, важна для обеспечения функций ядерной безопасности при различных уровнях напряжения. Эта подгруппа критична для всех состояний станции, а также для событий, которые требуют расхолаживания станции в контролируемом режиме. Надежная электроэнергетическая система критична для поддержания контроля за мощностью реакторной установки, а также за мониторингом и управлением функциями обеспечения безопасности атомной станции. Это нужно для сохранения барьеров, которые препятствуют выбросу радиоактивных веществ при проектных и запроектных авариях.

Международные стандарты и национальные правила промышленной безопасности обеспечивают методическое руководство в отношении приемлемых требований безопасной и надежной работы электрических распределительных систем. Выполнение требований этих правил промышленной безопасности, а также стандартов в целом обеспечивает обоснованную гарантию надлежащего функционирования электрических систем, а также пропускную способность этих систем на NPP.

Основы проектирования электроэнергетических систем на NPP следует устанавливать на основе анализа следующих элементов:

- критериев проектирования NPP, глубокоэшелонированной защиты, классификации по безопасности, проектных условий (DBC) и условий запроектных аварий (DEC);
- требований к ограничениям систем электропередачи, безопасности энергетической системы, национального электросетевого кодекса, производительности станции и ее эксплуатационным ограничениям;
- архитектуры и спецификаций электроэнергетических систем;
- размеров основных компонентов и систем, таких как трансформаторы собственных нужд и резервные трансформаторы, распределительных устройств, кабелей электродвигателей и резервных источников переменного тока (AC) и постоянного тока (DC);
- распределения нагрузок и энергобаланса;
- расчета потока распределения;
- координации характеристик (напряжение, ток и ток короткого замыкания);
- требований к вспомогательной системе в ходе постулируемых проектных условий;
- верификации проекта, включая анализ верификации.

Примеры проектных основ для электроэнергетических систем приведены в приложении A.

Методические указания и пример аналитических методов подробно рассматриваются в приложении B. Связь между анализом и верификацией проектных основ и спецификаций оборудования приведена в приложении C. Пример специальных критериев приемки NPP (см. 5.8) приведен в приложении D.

Стандарт предназначен для использования операторами NPP (системы электроснабжения), специалистами по оценке системы и лицензиарами.

b) Место настоящего стандарта в структуре серии стандартов МЭК ПК 45A

МЭК 62855 является документом МЭК ПК 45A третьего уровня, касающимся аспектов анализа электроэнергетических систем.

Настоящий стандарт поддерживает методические указания, которые изложены в Руководстве по безопасности МАГАТЭ SSG-34, относящемся к проектированию электроэнергетических систем для атомных станций.

Настоящий стандарт относится:

- к серии руководств МАГАТЭ по атомной энергии NG-T-3.8, в которой рассматриваются аспекты надежности электрических сетей и интерфейсы с атомными станциями, а также
- к МЭК 61513, который устанавливает общие требования для систем контроля и управления, которые важны с точки зрения обеспечения безопасности и которые применяются на атомных станциях.

Более подробное описание структуры серии стандартов МЭК ПК 45A см. в пункте d) настоящего введения.

c) Рекомендации и ограничения относительно применения стандарта

Для гарантии того, что настоящий стандарт останется актуальным в будущем, особое внимание уделено принципиальным вопросам, а не конкретным технологиям.

d) Описание структуры серии стандартов МЭК ПК 45А и их связи с другими документами МЭК и документами других организаций (МАГАТЭ, ИСО)

Стандартами высшего уровня в серии стандартов МЭК ПК 45А являются МЭК 61513 и МЭК 63046. МЭК 61513 содержит общие требования к системам и оборудованию контроля и управления, выполняющим функции, важные для безопасности на атомных станциях. МЭК 63046 содержит общие требования к системам электроснабжения атомных станций. Он охватывает системы электроснабжения систем контроля и управления. МЭК 61513 и МЭК 63046 должны рассматриваться совместно и на одном уровне. МЭК 61513 и МЭК 63046 формируют структуру серии стандартов МЭК ПК 45А и очерчивают структуру общих требований к управлению и контролю, и электроснабжению атомных станций.

МЭК 61513 и МЭК 63046 содержат прямые ссылки на другие стандарты МЭК ПК 45А, рассматривающие общие темы, связанные с классификацией функций и классификацией систем, аттестацией, разделением систем, защитой от отказа по общей причине, аспектами программного обеспечения, аспектами аппаратных средств и проектированием пунктов управления. Стандарты второго уровня, на которые приведены ссылки, следует рассматривать вместе с МЭК 61513 и МЭК 63046 в качестве последовательных документов.

На третьем уровне стандарты МЭК ПК 45А, на которые нет прямых ссылок в МЭК 61513 или МЭК 63046, — это стандарты, связанные с определенным оборудованием, техническими методами или определенной деятельностью. Как правило, документы, ссылающиеся на документы второго уровня (по общим темам), могут использоваться самостоятельно.

Четвертый уровень стандартов серии МЭК ПК 45А представляет собой Технические отчеты, которые не являются нормативными документами.

Стандарты серии МЭК ПК 45А последовательно внедряют и детализируют принципы и основные аспекты безопасности, предусмотренные в Руководствах МАГАТЭ по безопасности атомных станций, и в других документах по безопасности МАГАТЭ, в частности, в Нормах МАГАТЭ по безопасности SSR-2/1, устанавливающих требования к безопасности при проектировании атомных станций, и в Руководстве по безопасности SSG-30, рассматривающем классификацию по безопасности конструкций, систем и компонентов атомных станций. Руководство МАГАТЭ по безопасности SSG-39, которое содержит информацию по дизайну систем контроля и управления для атомных станций, а также Руководство МАГАТЭ по безопасности SSG-34, которое содержит информацию по дизайну систем электроснабжения атомных станций, а также Руководство по внедрению NSS 17 применительно к компьютерной защищенности на объектах использования атомной энергии. Терминология и определения, используемые в отношении безопасности и защищенности в стандартах ПК 45А согласуются с терминологией МАГАТЭ.

МЭК 61513 и МЭК 63046 выполнены в том же формате изложения, что и основной документ по безопасности МЭК 61508, и содержит полную схему жизненного цикла и структуру жизненного цикла системы, а кроме того МЭК 61513 и МЭК 63046 по ядерной безопасности предоставляют интерпретацию основных требований, изложенных в МЭК 61508-1, МЭК 61508-2 и МЭК 61508-4, применительно к ядерной отрасли. С этой точки зрения МЭК 60880 и МЭК 62138 соответствуют МЭК 61508-3 в части использования для ядерной отрасли. МЭК 61513 и МЭК 63046 ссылаются на стандарты ИСО, а также документы МАГАТЭ GS-R-3, МАГАТЭ GS-G-3.1 и МАГАТЭ GS-G-3.5 по вопросам, связанным с обеспечением качества (QA). На уровне 2, применительно к ядерной безопасности, МЭК 62645 является исходным документом для стандартов по безопасности серии МЭК ПК 45А. Он построен на действующих принципах верхнего уровня и основных концепциях общих стандартов по безопасности, в частности ИСО/МЭК 27001 и 27002. Он адаптирует их и дополняет, чтобы они соответствовали контексту, а также координирует с серией МЭК 62443. На уровне 2, в отношении пунктов управления, МЭК 60964 является исходным документом для пунктов управления, которые соответствуют положениям стандартов МЭК ПК 45А, а также МЭК 62342 является исходным документом для стандартов МЭК ПК 45А по управлению старением.

Примечания

1 Предполагается, что для проектирования систем управления и контроля на атомных станциях, которые реализуют традиционные функции безопасности (например, для решения проблем охраны труда работников, защиты имущества или ресурсов, химических опасных факторов, опасных факторов процессов получения, переработки и использования энергии) будут применены международные или национальные стандарты.

2 Область действия МЭК ПК 45А в 2013 г. была расширена, чтобы охватывать электрические системы. В 2014 г. и 2015 г. в МЭК ПК 45А были проведены обсуждения, чтобы решить, каким образом и где должны устанавливаться общие требования к конструкции электрических систем. Эксперты МЭК ПК 45А рекомендовали разработать отдельный стандарт на уровне МЭК 61513, чтобы установить общие требования для электрических систем. Чтобы решить эту задачу, начат проект по разработке МЭК 63046[1)]. Когда МЭК 63046 будет опубликован, то данное примечание 2 введения в стандарты серии МЭК ПК 45А будет аннулировано.

[1)] В процессе подготовки. Этап на момент публикации: IEC ANW 63046:2016.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Атомные станции

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Анализ электроэнергетических систем

Nuclear power plants. Electrical power systems. Electrical power systems analysis

Дата введения — 2019—08—01

1 Область применения

В настоящем стандарте приведены методические указания по электротехнике в отношении анализа электроэнергетических систем AC и DC на NPP с целью продемонстрировать то, что все источники питания и системы распределения имеют рабочую мощность, необходимую для безопасной работы и останова NPP, переводу ее в контролируемое состояние после проектного нарушения нормальной эксплуатации, или аварийных условий, и в конечном итоге достижения безопасного состояния.

Аналитические исследования, обсуждаемые в настоящем стандарте, дают гарантию того, что проектные основы удовлетворяют функциональным требованиям в условиях, формируемых применяемыми проектными аварийными событиями. Исследования дают гарантию того, что электроэнергетическая система способна поддерживать функции обеспечения безопасности в ходе всех необходимых режимов работы станции.

Примечание — Функции обеспечения безопасности описаны в специальном руководстве по безопасности МАГАТЭ SSR-2/1, которое относится к проектированию атомных станций.

Аналитические исследования валидируют надежность и адекватность проектных решений и демонстрируют способность электроэнергетических систем поддерживать работу станций при нормальной эксплуатации, нарушении нормальной эксплуатации и аварийных условиях.

Анализы используются для верификации того, что электроэнергетическая система может выдерживать незначительные нарушения и что последствия серьезных нарушений или отказов не нарушат способность электроэнергетических систем по поддержанию безопасного останова станции и будут сохранять станцию в состоянии останова.

Аналитические исследования выполняют с использованием одного или нескольких:

- инструментов моделирования (программное и аппаратное обеспечение), которые были верифицированы и валидированы,
- ручных вычислений,
- испытаний (тестов).

В настоящем стандарте представлены методические указания по типам аналитических исследований, которые необходимы для демонстрации того, что вспомогательная электроэнергетическая система станции может выполнять необходимые функции обеспечения безопасности. В настоящем стандарте не приводится подробная информация по методике проведения исследования.

В настоящем стандарте не описываются цифровые контроллеры (такие как контроллеры для выпрямителей, инверторов, устройств управления последовательностью операций и электрическими защитными устройствами), используемыми в электроэнергетических системах. В МЭК 61513 приведены рекомендации, которые применяют в отношении электронных средств управления и защитных элементов электроэнергетических систем.

Издание официальное

В настоящем стандарте не приведены условия окружающей среды (т. е. температура, влажность и т. п.) или внешние события (сейсмические, наводнения, пожары, мощные электромагнитные импульсы, и т. п.), которые могут влиять на параметры или требования к защите оборудования. Молнии и геомагнитные бури включены в разряд внешних событий.

В настоящем стандарте не рассматриваются дополнительные или особые требования для автономных энергетических систем, такие как электроснабжение систем безопасности на NPP. Применимые разделы настоящего стандарта могут использоваться в качестве руководства для подобных систем.

Резервируемость в устройстве электроэнергетических систем может повысить готовность электроснабжения для критического оборудования станции. Выполнение вероятностного анализа безопасности (PRA) представляет собой метод оценки готовности системы, а также оптимизации конструкции системы с точки зрения высокой надежности. В данном стандарте не рассматривается повышение надежности электроэнергетических систем NPP на основе статических или разнотипных и избыточных схем.

Требования к внутренним барьерам защищенности персонала, который участвует в монтаже, техобслуживании и эксплуатации электрических систем, а также общая личная безопасность не рассматриваются в данном стандарте. Общие указания по молниезащите оборудования приведены в соответствующих разделах настоящего стандарта.

Настоящий стандарт предназначен для использования:

- для верификации проекта новых атомных станций,
- для демонстрации соответствия и влияния значительных изменений электроэнергетических систем при эксплуатации атомных станций,
- когда существует требование оценить и определить максимальные эксплуатационные пределы и ограничения для существующих станций.

Соответствующие части настоящего стандарта допускается использовать в качестве руководства на этапе вывода из эксплуатации.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте отсутствуют нормативные ссылки.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **альтернативные источники переменного тока** (alternate alternating current source): Источники электроснабжения, зарезервированные для использования в электроснабжении станции в ходе полной потери всей (кроме батарей) электроэнергии в аварийной энергосистеме (обесточивание станции), а также в других запроектных условиях.

Примечание 1 — Рисунок А.2 дает представление в графической форме.

3.2 **нагрузка собственных нужд** (house load operation): Работа атомной станции только для обеспечения электроснабжения собственных нужд.

3.3 **запроектные условия** (design extension conditions): Постулируемые аварийные условия, которые не учитываются применительно к проектным авариям на NPP, однако учитываются в процессе проектирования станции на основе расчета в наилучшем приближении, и применительно к которым выбросы радиоактивных веществ поддерживаются в приемлемых пределах.

Запроектные условия включают условия при событиях без существенной деградацией топлива и условиями, связанными с расплавлением активной зоны.

[Источник: IAEA SSR-2/1:2012, определения пересмотрены по DS462]

3.4 **потеря внешнего электроснабжения** (loss of off-site power): Одновременная потеря электроснабжения на все шины обеспечения безопасности, для которых нужны резервные источники питания переменного тока для пуска и подачи питания на шины обеспечения безопасности.

Примечание 1 — Шины обеспечения безопасности систем DC и системы бесперебойного электроснабжения AC здесь не включены.

3.5 **баланс мощности** (power balance): Активная и реактивная мощность в стационарном режиме, которая нужна для электроэнергетической системы.

Примечание 1 — Настоящий стандарт обеспечивает базис для определения параметров электрического оборудования (щиты управления, кабели, источники энергопитания, трансформаторы, батареи, выпрямители/инверторы, и т. п.).

3.6 **предпочтительное электроснабжение** (preferred power supply): Электроснабжение от системы электропередач к электроэнергетической системе, классифицированной по безопасности и представляющей систему электропередач, электрораспределительную подстанцию, главный электрический генератор, распределительную систему вплоть до электроэнергетической системы, классифицированной по безопасности.

Примечание 1 — Некоторые элементы предпочтительного электроснабжения не классифицируются по безопасности.

3.7 **резервный источник питания переменного тока** (standby alternating current power source): Источник электропитания, который способен осуществлять необходимое электропитание в условиях нарушения нормальной эксплуатации и аварийных ситуаций, в случае потери внешнего электроснабжения и главного электрического генератора.

3.8 **обесточивание станции** (station blackout): Состояние станции, которое характеризуется полной потерей всего энергопитания переменного тока от внешних источников, от главного электрического генератора и от резервных источников электропитания переменного тока, которые важны с точки зрения безопасности для шин ответственных и неответственных потребителей распределительного устройства.

Примечания

1 Источники энергопитания DC и источники бесперебойного питания AC работоспособны, пока батареи могут обеспечивать электропитание нагрузок.

2 Имеются альтернативные источники энергопитания переменного тока.

3.9 **суммарный коэффициент гармонических искажений** (total harmonic distortion): Отношение значения среднеквадратичного содержания гармоник переменной величины к значению среднеквадратичной составляющей промышленной частоты.

[Источник: 60050-551:1998, 17-06]

3.10 **оператор системы передачи электричества** (transmission system operator): Лицо, ответственное за обеспечение и эксплуатацию сетей передачи электроэнергии на большие расстояния и региональное распределение, а также отвечающее и гарантирующее безопасность системы на высоком уровне надежности и с высоким качеством.

4 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие обозначения и сокращения:

AC — переменный ток;

AOO — нарушение нормальной эксплуатации;

CCF — отказ по общей причине;

CMF — взаимосвязанный отказ;

DBA — проектная авария;

DBC — проектные условия;

DC — постоянный ток;

DEC — запроектные условия;

EMC — электромагнитная совместимость;

LOOP — потеря внешнего электроснабжения;

NPP — атомная станция;

PPS — предпочтительное электроснабжение;

PRA — вероятностный анализ безопасности;

QA — обеспечение качества;

SSC — конструкции, системы и компоненты;

THD — общие гармонические искажения;

TSO — оператор системы передачи электричества;

UPS — источник бесперебойного питания;

V&V — верификация и валидация.

5 Анализ электроэнергетических систем

5.1 Краткий обзор стандартных исследований

5.1.1 Анализы динамической устойчивости

Нарушения в энергосистеме, такие как короткие замыкания в линиях электропередач, внезапная потеря генерации или потеря значительной нагрузки, могут вызвать неустойчивость. Если такие нарушения быстро не устранить, то неустойчивость в конечном итоге приведет к частичной потере или полной потере преимущественного электроснабжения.

В анализах динамической устойчивости исследуется переходное поведение генератора NPP после возникновения нарушения в электрической сети в непосредственной близости от станции. Исследование определяет способность генератора оставаться подключенным к энергосистеме и изучает влияние переходных режимов на систему электроснабжения энергоблока.

5.1.2 Исследование потокораспределения

Различные балансы мощности являются исходными данными для исследований потока распределения. Исследование потокораспределения выполняется для определения работы электроэнергетической системы в установившемся режиме. Исследование должно установить:

- падение напряжения на каждом вводе питания,
- напряжение на шине,
- напряжение на клеммах нагрузки,
- поток распределения на всех ответвлениях и питающих линиях.

Исследование применяется для определения того, остается ли напряжение в системе в указанных пределах при всех условиях, которые определены.

5.1.3 Исследования переходных процессов и динамические исследования

При проведении исследования переходных процессов определяются напряжение, ток, мощность и частота в электроэнергетической системе в случае возникновения повреждения или нарушения во взаимосвязанной сети. Это может возникнуть в результате таких событий, как пуск и нагружение резервных источников электропитания, пуск и работа больших электродвигателей, а также отказ регуляторов напряжения генераторов.

В ходе и после такого нарушения эти динамические исследования должны:

- исследовать поведение ротационных машин и электрического оборудования, а также
- верифицировать работоспособность ротационных машин и вспомогательного электрического оборудования.

5.1.4 Исследование короткого замыкания

Исследование короткого замыкания требуется для установления максимальной возможной мощности короткого замыкания в каждой точке электроэнергетической системы и для гарантии того, что существующие и новые номиналы оборудования являются адекватными. Исследования короткого замыкания также нужны для определения минимального тока короткого замыкания, чтобы верифицировать чувствительность оборудования электрической защиты.

5.1.5 Координация и селективность электрической защиты

Система электрической защиты обнаруживает и реагирует на повреждения в электрической цепи, чтобы свести к минимуму повреждение оборудования. Электрические защитные схемы минимизируют опасности для персонала, оборудования и станции за счет отключения поврежденной части энергетической системы. Это обеспечивает непрерывность и наличие мощности для сохранения баланса системы.

Исследование координации определяет выбор и уставки всех защитных устройств со стороны нагрузки питания по направлению к подаче электропитания. При выборе или определении уставок этих защитных устройств выполняется сравнение времени работы всех устройств в ответ на различные уровни тока, напряжения и частоты. Задача заключается в том, чтобы спроектировать селективно скоординированную электроэнергетическую систему.

5.1.6 Исследования молниезащиты

Системы молниезащиты используются для минимизации возможных последствий прямого попадания молнии. Исследования молниезащиты определяют величину напряжения и тока после удара молнии, чтобы верифицировать способность защитных схем и оборудования.

5.2 Применимость исследований в отношении различных состояний станции

5.2.1 Общие положения

При нормальной работе станции шины обеспечения безопасности в целом получают электропитание от преимущественного источника электропитания и соединяются с шинами, не являющимися шинами обеспечения безопасности. При анализах верификации электроэнергетических систем таким образом следует охватывать все взаимодействующие части электроэнергетических систем, включая электросеть, генераторы и системы, не обеспечивающие безопасность, для всех режимов эксплуатации и останова NPP.

5.2.2 Рекомендации

Предлагаемые рекомендации:

a) как часть процесса верификации проекта, для будущих модификаций станции следует выполнять и поддерживать в надлежащем состоянии следующие виды исследований:

1) анализ установившихся процессов и анализ переходных процессов для демонстрации того, что электроэнергетические системы:

- способны обеспечивать электропитание систем обеспечения безопасности станции для выполнения присущих им функций в ходе постулируемых событий нагружения станции по наихудшему сценарию с минимально допустимым напряжением и частотой системы,
- выполнять требования проектных основ в отношении ожидаемых эксплуатационных нарушений и аварийных условий,
- включать адекватные меры для запроектных условий, таких как обесточивание станции,
- включать адекватные меры применительно к внешним электрическим событиям, которые могут нарушить источники электропитания по месту, а также внешние источники;

2) демонстрация того, что системы с более высокой классификацией по безопасности имеют адекватную защиту от воздействия системы с более низким классом безопасности, такую как:

- от распространения нарушений,
- от инициации электрических отказов по общей причине,
- от перегрузки;

3) демонстрации того, что внешние цепи, когда они выделяются для подачи безопасных нагрузок, соответствуют требованиям надежности и готовности. Это также следует демонстрировать после планируемых изменений объектов по передаче и генерации, которые могут оказывать влияние на сеть, подсоединенную к станции;

4) демонстрации того, что внешние сети, когда они выделяются для подачи безопасных нагрузок, будут продолжать обеспечивать необходимую мощность и пропускную способность в случае:

- потери атомной станции,
- потери самой большой генерирующей установки, подсоединенной к электросети,
- потери самой большой передающей сети или энергообъединения,
- потери самой большой нагрузки;

b) в исследованиях следует учитывать все эксплуатационные режимы и события на NPP, которые определены, а именно:

5) нормальный режим эксплуатации:

- пуск;
- работа на мощности;
- останов;
- работа системы останова;
- остановка реактора;
- перегрузка;
- техобслуживание;
- испытания;

6) нарушения нормальной эксплуатации:

- аварийный останов энергоблока/полный сброс нагрузки;
- потеря питания от внешних источников;
- потеря преимущественного электропитания;

7) проектные аварии на NPP;

8) запроектные условия:

- обесточивание станции;
- продолжительная потеря питания переменного тока;

c) исследования в отношении мощности и пропускной способности внешних сетей следует выполнять вместе с TSO.

5.3 Выбор, верификация и валидация аналитических инструментов

5.3.1 Общие положения

Следует использовать системный подход для обеспечения того, чтобы имитации точно воспроизводили требования, которые определены на основе предварительных условий, и чтобы результаты можно было валидировать автономно путем полевых измерений, или других разнообразных и альтернативных методов.

Масштаб исследования, которое будет выполняться, а также явление, которое будет моделироваться в сложно анализируемой сети, определяют тип программного обеспечения, которое следует использовать для анализа. Программное обеспечение должно иметь способность моделировать несимметричные отказы и условия. Большинство коммерческого программного обеспечения, разработанного для анализа электроэнергетических систем крупных промышленных комплексов, будет обладать способностью имитировать все основные шины и нагрузки на NPP и выполнять минимальный набор исследований, указанных проектировщиком.

Настоящий стандарт не дает рекомендаций по конкретному программному обеспечению.

5.3.2 Рекомендации

Предлагаемые рекомендации:

a) для специального программного обеспечения, которое будет использоваться для определения проектных основ электрической системы, следует учитывать следующие требования:

- проверяемый процесс обеспечения качества, который соответствует требованиям международных стандартов, следует установить и поддерживать;
- систему программного обеспечения следует подвергать V&V с целью проверки того, что система отвечает техническим условиям и выполняет свое предназначение. Данный процесс V&V также следует реализовывать в имитационных исследованиях. Такой подход предусматривает:
  - составление отчета о мероприятиях V&V,
  - определение валидированной предметной области (области, в которой разница между результатами, полученными с помощью инструментов и результатами другой валидированной ссылки или тестов, считается удовлетворяющей ее предназначению), и
  - соответствующее архивирование документации;
- следует предоставить подробное и официальное описание инструмента имитации (номер версии программного обеспечения, конфигурация пользователя, другие установки и параметры);

b) для выполнения верификации и валидации, включая функциональную верификацию, специального программного обеспечения, которое будет использоваться, следует выполнить следующее:

- функциональная верификация должна продемонстрировать, что архитектура инструмента программного обеспечения не содержит ошибок;
- функциональная верификация должна быть продемонстрирована посредством сертификации или с помощью аудита обеспечения качества (QA). На документы, используемые для функциональной валидации, следует сделать ссылки в полном объеме;
- функциональная валидация должна позволить пользователю обеспечить факт того, что уравнения правильно представляют исследуемое физическое явление в рабочем диапазоне инструмента программного обеспечения, который определен;
- функциональная V&V может быть выполнена путем сравнения результатов имитации:
  - с результатами испытаний, или
  - с результатами, полученными от других функционально валидированных инструментов имитации, ручных вычислений, прошлого опыта и аналогичных работ, подкрепленных при необходимости экспертным мнением и оценкой.

Примечание 1 — Это может быть частью программы QA;

c) для каждого существенного изменения имитационного программного обеспечения или его окружающих условий, которые должны использоваться, пользователю следует выполнять анализ воздей-

ствия данной модификации. Если результаты испытаний или процесс функциональной V&V выполняются успешно, то следует использовать новую версию для замены старой версии, которую следует архивировать.

Примечание 2 — Как правило, это часть управления конфигурацией;

d) чтобы обеспечить правильное использование квалифицированного программного обеспечения, следует составить руководство пользователя. Руководство должно позволять нескольким пользователям:

- идентифицировать:
  - различные типы исследований, которые могут быть выполнены с помощью программного обеспечения,
  - модели, чьи области действия согласуются с физическим явлением, и
  - необходимые входные данные,
- трансформировать входные данные в формат, распознаваемый программным обеспечением (используя проверенные на качество таблицы),
- создавать необходимые файлы для выполнения имитации, и
- получать согласованные результаты;

e) персоналу, выполняющему исследования программного обеспечения, следует уметь продемонстрировать адекватное и соответствующее обучение, а также приемлемую квалификацию.

5.4 Модель электроэнергетической системы

Модель следует адаптировать к специальным исследованиям и выполнить, например, следующие действия:

- при анализах следует имитировать основные шины нагрузки переменного тока, кабели, трансформаторы и токоограничивающие устройства. Для больших систем общим методом будет группирование нагрузок с аналогичными характеристиками (например, знакопеременная нагрузка, статическая резистивная нагрузка) и имитация «сосредоточенной» нагрузки, которая, как ожидается, имеет «эквивалентное» воздействие на это у отдельных нагрузок;
- для динамической устойчивости основной генератор со своими регуляторами (напряжения и частоты вращения), повышающий трансформатор, большие электродвигатели и сеть в непосредственной близости от станции следует моделировать подробно. Сеть в целом может модифицироваться на основе технического обоснования в качестве эквивалентной системы в целях упрощения.

Допущения, сделанные в физической модели, которая использована в анализе, следует четко идентифицировать и валидировать, а ограничения следует идентифицировать.

5.5 Соединение электросети и атомной станции

Следует выполнить аналитические исследования, относящиеся к внешним электроэнергетическим системам. Проект NPP должен учитывать эти аналитические исследования и оценить воздействие на внутренние электроэнергетические системы.

Указанные исследования должны включать все прогнозируемые уточнения электроснабжения и сценарии эксплуатации NPP с целью оценки проекта и эксплуатации внешнего электроснабжения для обеспечения безопасной работы NPP при всех условиях.

Исследования должны обеспечить всестороннюю оценку рабочей мощности и пропускной способности внешних источников электроснабжения, чтобы выполнить требования к проектированию NPP. Кроме того, исследования следует проанализировать в рабочем порядке, чтобы гарантировать, что любые изменения внутренних или внешних электроэнергетических систем адекватно оцениваются в отношении их воздействия на электроэнергетическую систему NPP.

Следует выполнить анализ для верификации того, что отклонения от максимального и минимального напряжения, а также от частоты, остаются в рамках проектных требований к NPP.

5.6 Обновление исследований системы

Следует подтвердить соответствие существующим исследованиям, либо исследования должны быть проведены повторно:

- когда основные замены и/или основные модификации реализованы в электроэнергетической системе (внутренней или внешней), и
- в ходе продления лицензии или периодического анализа безопасности.

Исследования пуска электродвигателей следует выполнять, как часть модификации станции, включая:

- перемещение нагрузок станции, и
- замену электродвигателей (которые могут иметь различные эксплуатационные характеристики) или генераторов.

5.7 Предварительные условия выполнения электрических исследований

Перед началом исследований следует определить следующие параметры:

- предварительные номинальные значения электрического оборудования;
- баланс мощности;
- все режимы работы NPP и наиболее неблагоприятный сценарий.

Чтобы определить наиболее неблагоприятный эксплуатационные условия следует проанализировать различные сценарии, учитывая сочетания параметров, указанных ниже:

- работа от внутренних или внешних источников электропитания;
- максимальная и минимальная мощность короткого замыкания;
- максимальный и минимальный диапазоны напряжения;
- максимальный и минимальный диапазоны частот;
- все рабочие режимы NPP;
- максимальная и минимальная выработка энергии на NPP;
- максимальная и минимальная нагрузки с учетом всех эксплуатационных нагрузок и условий окружающей среды;
- максимальный и минимальный электрические импедансы электроэнергетической системы;
- режимы работы после одиночных отказов электрооборудования;
- перераспределение нагрузок между источниками электропитания.

5.8 Приемочные требования

В настоящем стандарте определены приемочные требования.

Критерии приемки должны быть определены на основе указанных требований. Невыполнение приемочных требований должно быть обосновано с точки зрения отсутствия нежелательного воздействия на ядерную безопасность, либо в проект должны быть внесены изменения.

6 Исследование переходных процессов в системе электропередачи атомных станций

6.1 Общие положения

Раздел 6 относится к электросети и основному электрическому генератору на NPP.

Восстановление системы электропередачи, которая подверглась воздействию очень сильного нарушения, имеет большое значение для надежной и безопасной работы NPP. Исследования динамической устойчивости электроэнергетической системы должны помочь определить варианты ограничений для станции при поддержании электроснабжения и соединений с электросетью в течение нарушений, не приводящих к потере синхронизации генератора. Эти исследования следует выполнять вместе с оператором системы передачи электричества с целью определения параметров, таких как время устранения повреждения.

6.2 Рекомендация

Анализы динамической устойчивости следует выполнять с целью имитации эксплуатационных условий электроэнергетической системы, а также определения воздействия на устойчивость системы.

6.3 Приемочные требования

Основной генератор должен оставаться подключенным к электросети и не терять синхронизма по отказам, которые устранены за счет схемы защиты оператора системы передачи электричества. Основной генератор должен в полном объеме отвечать требованиям национального сетевого стандарта оператора системы передачи электричества, если только с оператором не согласованы отклонения. Результат анализа должен верифицировать, что внутренняя электроэнергетическая система NPP

и подсоединенных нагрузок могут работать в переходных условиях в соответствии с требованиями электросетевого стандарта оператора системы передачи электричества.

7 Анализ внутренней электроэнергетической системы переменного тока

7.1 Общие положения

Этот раздел относится к электроэнергетическим системам переменного тока низкого и среднего напряжения (без подачи от инверторов или UPS), включая резервные источники энергопитания и альтернативные источники переменного тока.

7.2 Исследование потокораспределения

7.2.1 Общие положения

Выполнение исследования потокораспределения с использованием нескольких сценариев с различными конфигурациями станции и источников энергии (см. 5.7) дает уверенность в том, что энергосистема адекватно спроектирована и отвечает рабочим параметрам.

7.2.2 Рекомендации

К исследованиям потокораспределения относятся следующие рекомендации:

a) исследования потокораспределения систем переменного тока следует проводить с имитацией реальной статической устойчивости электроэнергосистемы для нормальных, нарушений нормальных и аварийных условий, позволяя оценить напряжение на шине, напряжение на клеммах вращающегося оборудования, ток и поток мощности;

b) электросетевой кодекс оператора передающей сети, как правило, определяет диапазон напряжения, который может выдерживать атомная станция в процессе выработки электроэнергии, непрерывно или в течение ограниченного периода времени. Последствия повышенного и пониженного напряжения электросети следует оценить на предмет их воздействия на электроэнергетические системы станции в различных режимах эксплуатации, и если имеются переключатели ответвлений под нагрузкой, то их следует проанализировать в ходе исследования;

c) следует оценить диапазон напряжения и внутреннюю распределительную систему в момент, когда генератор отсоединен от сети (т.е. режимы пуска и останова);

d) в ходе исследований потокораспределения следует рассмотреть следующие варианты:

- тяжелые условия эксплуатации максимальной и минимальной нагрузок электроэнергетической системы, чтобы проверить адекватность внутренних и внешних источников энергопитания. В них следует включать условия в ходе эксплуатации под нагрузкой и в период останова станции;
- нештатные условия, такие как перерыв в подаче электроэнергии по линиям, трансформаторам и генераторам внешнего источника, соединенного с минимальной и максимальной нагрузкой электроэнергетической системы станции. В этом исследовании следует учитывать оборудование станции, которое нужно для смягчения последствий происшествия.

Примечание — В ходе исследования по оптимизации проекта могут быть выполнены исследования запаса по надежности параметров станции:

- отпайки и импеданс трансформаторов,
- ограничения по возбуждению генератора,
- компенсация реактивной мощности,
- типоразмеры кабелей.

7.2.3 Приемочные требования

Результаты потокораспределения должны быть согласованы:

a) со способностью потокораспределения различного электрооборудования (включая ограничения),

b) с допустимым диапазоном напряжения для эксплуатации электрооборудования.

7.3 Исследования переходных процессов

7.3.1 Общие положения

Исследования переходных процессов в системе переменного тока позволяют оценить амплитуду напряжения на шине, а также фазовый сдвиг, ток и частоту, которые возникают после сбоев в системе, таких как повреждение в электрической цепи или случайная потеря важного элемента.

7.3.2 Переходные процессы при отказе

7.3.2.1 Рекомендации

К исследованиям переходных процессов относятся следующие рекомендации:

a) напряжение и частоту на внутренних шинах следует определить в переходных условиях и стационарном режиме после внутреннего или внешнего события для всех режимов эксплуатации станции. Кроме того, следует учитывать фазовые сдвиги, которые могут оказывать воздействие на присоединенные нагрузки и их цепи управления.

Примечание — Фазовый сдвиг (здесь) представляет собой изменение разности фаз между двумя (или более) величинами.

Стандартные события, которые следует учитывать, включают:

- события в электросети, такие как короткие замыкания и замыкания на землю, устраненные основной или резервной защитой,
- короткие замыкания и замыкания на землю основного генератора, трансформатора энергоблока или вспомогательного трансформатора,
- короткие замыкания и замыкания на землю во внутренних электроэнергосистемах (следует провести исследования чувствительности, чтобы идентифицировать граничные случаи),
- колебания частоты.

Следует помнить, что этот перечень не исчерпывающий. Могут понадобиться дополнительные исследования отказов в зависимости от особенностей конструкции станции;

b) следует проанализировать воздействие от симметричных и несимметричных коротких замыканий на питание переменного тока и на электрическое оборудование (такое как электродвигатели, выпрямители и инверторы). В него следует включать внутренние и внешние отказы, а также следует учитывать параметры восстанавливающего напряжения. Следует валидировать пригодность защитного оборудования для обнаружения и устранения неприемлемых параметров электроэнергетической системы;

c) в отношении нарушений системы, которые приводят к срабатыванию или изолированию оборудования, важного для безопасности, следует проанализировать повторный пуск или время перезапуска больших электродвигателей, чтобы убедиться, что защитные системы не препятствуют выполнению автоматических функций оборудования, обеспечивающего безопасность.

7.3.2.2 Приемочные требования

Исследования переходных процессов должны верифицировать следующее:

a) неприемлемые условия в системе из-за электрических нарушений должны быть обнаружены и устранены защитной системой селективно.

Если нарушения в системе приводят к потере источника электропитания, то должна быть оценена последовательность событий, относящаяся к переходу на альтернативные источники электроэнергии. Это обеспечит непревышение ограничений по времени для работы системы уменьшения радиоактивных выбросов, в отношении которой сделано допущение при анализе аварий.

Пример — В случае утраты одной внешней энергетической системы, переход в режим нагрузки на собственные нужды или на альтернативные внешние источники и на резервные внутренние источники валидирован. Это обеспечит, что общее время для задействования и эксплуатации систем безопасности для уменьшения последствий проектных событий находится в допустимых пределах;

b) частота, ток и напряжение электроэнергетической системы станции должны соответствовать спецификациям оборудования и его возможностям (включая координацию изоляции). Оборудование, которое необходимо для срабатывания защиты, должно иметь соответствующую отключающую способность.

7.3.3 Исследования переключения питания шины с одного источника питания на другой

7.3.3.1 Общие положения

Переключение питания шины с одного источника питания на другой может быть инициирована за счет изменений в электросети или на станции, в устройстве резервирования при отказе выключателя или действий оператора.

7.3.3.2 Рекомендация

Переключение питания шины с одного источника питания на другой следует проанализировать, как часть исследований в переходных условиях.

7.3.3.3 Приемочные требования

Исследования переключения питания шины с одного источника питания на другой должны верифицировать, что:

a) остаточное напряжение для переключения питания шины с одного источника питания на другой с замедлением должно быть достаточно низким, чтобы не допустить проблем несинфазного напряжения для ротационного оборудования;

b) напряжение на клеммах вспомогательного оборудования станции, при пуске или повторном пуске (особенно асинхронных электродвигателей) должно быть достаточным, чтобы успешно разогнать все оборудование, которое пускается одновременно после успешного переключения питания шины с одного источника питания на другой;

c) время пуска и/или разгона вспомогательного оборудования станции, такого как большие нагнетательные насосы, должно соответствовать требованиям промышленной безопасности на NPP на основе анализа происшествий и эксплуатационных нужд;

d) рабочие характеристики защитных схем, таких как реле токовой отсечки или реле минимального напряжения, не должны приводить к нежелательным срабатываниям при наихудшем сценарии эксплуатации энергосистемы, и

e) после пуска или повторного пуска все электрооборудование должно эксплуатироваться при допустимых напряжении и частоте.

7.3.4 Исследования по запуску и перезапуску электродвигателей

7.3.4.1 Общие положения

Пусковой ток для электродвигателей (особенно для крупных) приводит к возникновению существенного падения напряжения на клеммах оборудования (и в подсоединенных щитах управления). Это может потенциально привести к сбою пуска электродвигателя из-за низкого крутящего момента при пуске или срыву других работающих электродвигателей, подсоединенных к сети. При исследованиях пуска электродвигателей следует рассматривать наиболее тяжелые условия нагрузки и источников энергии.

7.3.4.2 Рекомендации

В отношении исследований пуска и перезапуска электродвигателей можно выдать следующие рекомендации:

a) исследования пуска электродвигателей следует выполнять как часть исследования переходных процессов. При этих исследованиях следует охватывать все возможные сценарии;

b) профили тока и напряжения после переключения питания шины с одного источника питания на другой или после кратковременной посадки напряжения во внутренней электроэнергетической системе следует проанализировать. Следует определить соответствующее падение напряжения в трансформаторах и кабелях.

7.3.4.3 Приемочные требования

Исследования по запуску и перезапуску электродвигателей должны верифицировать следующее:

a) пуск и перезапуск всех асинхронных электродвигателей не должен приводить:

- к опрокидыванию электродвигателя в ходе пуска,
- к опрокидыванию других электродвигателей,
- к переключению на внешний источник энергопитания, и
- к пуску источников переменного тока, находящихся в режиме ожидания;

b) напряжение на клеммах асинхронных электродвигателей после пуска или перезапуска должно соответствовать требованиям технических спецификаций на оборудование (особенно, что относится к напряжению и времени пуска);

c) время пуска асинхронных электродвигателей в постулируемых наихудших условиях (см. 5.7) должно соответствовать:

- критериям, установленным в анализе ядерной безопасности,
- любым эксплуатационным ограничениям,
- уставкам системы защиты;

d) после пуска электродвигателей электрооборудование должно работать при допустимых напряжении и частоте.

7.3.5 Работа в режиме нагрузки для собственных нужд

7.3.5.1 Общие положения

Некоторые атомные станции имеют способность работать в режиме собственных нужд, т. е. преобразовывать вырабатываемое электричество только в нагрузку на собственные нужды NPP. Причи-

ной такого режима могут быть сбои в электросети или на распределительной подстанции. Переход на нагрузку на собственные нужды вызовет колебания напряжения и частоты на клеммах генератора, а также во внутренних системах.

7.3.5.2 Рекомендация

Следует исследовать воздействие на электрооборудование NPP из-за колебаний напряжения и частоты. Электронное оборудование, такое как выпрямители и инверторы, чувствительно к изменениям параметров генератора, если только оно не спроектировано для такого применения. Воздействие на электронные защитные устройства также следует исследовать.

7.3.5.3 Приемочные требования

Исследование должно верифицировать следующее:

a) в ходе и после перехода на нагрузку на собственные нужды частота и напряжение на клеммах электрооборудования должны соответствовать требованию спецификаций на оборудование и его возможностей;

b) переход на нагрузку на собственные нужды не должен привести:

- к опрокидыванию асинхронных электродвигателей,
- к переключению питания шины на внешние источники электроснабжения,
- к пуску источников переменного тока, находящихся в режиме ожидания.

7.3.6 Резкое отклонение напряжения

7.3.6.1 Общие положения

Примерами нарушений напряжения являются пониженное напряжение, несимметричное напряжение (такое как потеря фаз), кратковременные посадки напряжения и перебои в напряжении.

Перебои в напряжении могут привести к отключению избыточных подключенных нагрузок.

7.3.6.2 Рекомендации

В отношении исследований по нарушениям напряжения можно дать следующие рекомендации:

a) исследования нарушения напряжения следует выполнять как часть исследований в переходном режиме для поддержки исследований по координации защиты электрического напряжения;

b) при исследованиях по нарушениям напряжения следует рассматривать варианты симметричные и несимметричные (такие как потеря фаз) для нормальной и резервной подачи энергопитания. Схемы защиты должны обнаруживать условия понижения напряжения на источнике питания при отсутствии или минимальной нагрузке, а также при работе с полной нагрузкой.

7.3.6.3 Приемочные требования

Исследования по нарушениям в напряжении должны верифицировать следующее:

a) уставки защитной схемы (напряжение и время) должны обеспечить, чтобы оборудование не было повреждено в ходе работы при пониженном напряжении;

b) защитная схема должна обеспечить, чтобы шины обеспечения безопасности с недопустимым напряжением были отключены от источника с пониженным напряжением и переведены на альтернативный источник энергопитания.

7.3.7 Перенапряжения, вызванные переключениями и неисправностями

7.3.7.1 Рекомендации

Даны следующие рекомендации:

a) исследования перенапряжения следует выполнять как часть исследований в переходном режиме. Быстрые переходные напряжения также следует проанализировать;

b) исследования следует выполнять, чтобы показать, что быстрые переходные возмущения в электрической системе, не вызовут повреждения или сбоев в системе. Некоторые из явлений, которые нужно проанализировать, это:

- коммутирование индуктивности,
- коммутирование емкости,
- срез тока,
- незаземленные трехфазные системы.

В отношении перенапряжений, вызванных молнией, см.9.1.

7.3.7.2 Приемочные требования

Исследования по координации изоляции должны гарантировать, что пики напряжения не превышают возможностей оборудования выдерживать перенапряжение.

По вопросам защиты от напряжения см. 7.5.

7.3.8 Исследования ступенчатого нагружения

7.3.8.1 Рекомендации

В отношении исследований последовательности нагружения даны следующие рекомендации:

a) исследования последовательности нагружения резервных источников переменного тока следует выполнять с использованием моделей, которые позволяют оценить амплитуду напряжения на шине, а также фазовый сдвиг, ток, частоту, и время отклика регулирования первичного привода;

b) динамический анализ должен продемонстрировать, что:

- все нагрузки могут быть подключены в предварительно определенной последовательности,
- период времени устройства управления последовательностью достаточен для восстановления адекватного напряжения и частоты перед тем, как будет выполнен следующий шаг нагружения, и
- пусковые токи электродвигателей находятся в допустимых пределах;

c) следует исследовать отклонения частоты, как часть исследования ступенчатого нагружения, с помощью единственного резервного источника системы электропитания, важного для безопасности.

Примечание — Частотные переходы возникнут в ходе последовательного нагружения. Воздействие на расход насоса можно игнорировать, пока вариации кратковременные.

7.3.8.2 Приемочные требования

Последовательность нагружения должна верифицировать следующее:

a) в ходе последовательного нагружения отклонения частоты и напряжения на клеммах асинхронных электродвигателей не должно привести к срыву других вспомогательных нагрузок;

b) напряжение на клеммах асинхронных электродвигателей после пуска и перезапуска должно соответствовать требованиям технических спецификаций на оборудование (особенно это касается напряжения и времени пуска);

c) время пуска асинхронных электродвигателей для постулируемого наихудшего напряжения, частоты и условий нагружения должно соответствовать допущениям и критериям анализов по безопасности;

d) уставки системы защиты должны учитывать наихудшее напряжение, частоту и условия нагружения;

e) после последовательности нагружения электрооборудование должно работать в пределах номинального напряжения и диапазона частоты;

f) после каждого шага в последовательности нагружения частота и напряжение на клеммах резервного источника питания переменного тока должны находиться на уровне приемлемых значений, чтобы разрешить выполнение следующего шага;

g) функция безопасности оборудования, необходимая для безопасного останова, должна иметь приоритет при определении защитных схем.

7.3.9 Исследования частоты

Внутренние колебания частоты (по отношению к нормальной частоте), инициируемые сетью, следует оценить и продемонстрировать приемлемый уровень с точки зрения их воздействия на оборудование, такое как источники бесперебойного питания (UPS).

Минимально и максимально допустимые частоты установившегося режима следует оценить с точки зрения их воздействия на работу больших асинхронных электродвигателей и способности обеспечивать требуемый расход у подсоединенных насосов, вентиляторов, компрессоров, и т. п.

Максимальные/минимальные требования к расходу жидких сред должны удовлетворять требованиям к анализу ядерной аварии. Время срабатывания для задвижек с электроприводом не должно превышать допустимое время хода затвора.

Эти оценки требований к требуемому расходу и времени хода затвора, не являющиеся частью анализа электроэнергетической системы, должны выполнять специалисты по гидравлическим системам или анализу ядерной безопасности.

7.4 Исследование отказов

7.4.1 Исследования коротких замыканий

7.4.1.1 Общие положения

Вычисления коротких замыканий в соответствии с МЭК 60909 (все части) следует выполнять с целью определения максимального и минимального значений переменного тока в аварийных условиях. Исследования коротких замыканий необходимы для проверки способности оборудования противостоять аварийным условиям, чтобы спроектировать адекватную и избирательную защитную схему.

Аварийные условия могут бы вызваны симметричными или несимметричными короткими замыканиями. Отказы могут быть вызваны или замыканиями на землю, или замыканиями между проводниками под напряжением.

7.4.1.2 Рекомендации

Даны следующие рекомендации:

a) следует учитывать подпитку коротких замыканий от всех работающих источников в любое указанное время:

- подпитка от параллельных резервных источников переменного тока в ходе тестирования;
- существенная подпитка от больших асинхронных электродвигателей имеющегося тока коротких замыканий в электроэнергетической системе станции;

b) исследования коротких замыканий следует применять, чтобы определить необходимые номинальные значения распределительных устройств, кабелей и другого оборудования.

7.4.1.3 Приемочные требования

Результаты вычислений симметричных и несимметричных коротких замыканий должны согласовывать:

a) с максимальной возможностью выдерживать ток коротких замыканий всего электрооборудования,

b) с отключающей способностью коммутирующих устройств.

7.4.2 Исследования замыкания на землю (нарушенная изоляция)

7.4.2.1 Общие положения

Замыкания на землю могут сформировать условия несбалансированного напряжения, с риском нарушения изоляции, или несбалансированного тока, с риском чрезмерного нагрева.

7.4.2.2 Рекомендация

Исследования замыкания на землю следует выполнять, чтобы верифицировать, что нарушенная изоляция с замыканием на землю будет обнаружена. Следует учитывать подпитку коротких замыканий ото всех работающих источников в любое указанное время.

7.4.2.3 Приемочные требования

Если защитные схемы имеют функцию отсутствия срабатывания на условия замыкания на землю (как например, заземление через системы импеданса), то рабочее оборудование должно суметь продемонстрировать свою способность выполнения предназначенной(ых) функции(й).

7.5 Исследования по координации электрической защиты

7.5.1 Рекомендации

Рекомендуется делать следующее:

a) следует определить адекватную селективность в отношении всех имеющихся источников и нагрузок.

В особых случаях и в отношении конкретных источников (например, источников энергопитания в режиме ожидания), а также потребителей защита оборудования может быть уменьшена до основного набора для сохранения функции ядерной безопасности.

Защитная схема не должна срабатывать на нормальные эксплуатационные переходные условия, такие как бросок тока при пуске электродвигателя, коммутационное перенапряжение, бросок тока трансформатора;

b) при расчетах координации электрической защиты следует определить оптимальные настройки с целью достижения высокой готовности электроэнергетических систем. В данных вычислениях следует учитывать все условия эксплуатации, включая использование резервных источников.

Защитная схема должна побуждать к отключению оборудование, которое находится ближе всего к нарушенной части системы, чтобы не допустить еще большего повреждения оборудования. Это обеспечит минимальное нарушение системы за счет сохранения непрерывности подачи питания на нетронутые участки энергосистемы;

c) максимальная токовая защита должна учитывать следующее:

- наивысший переходный процесс в ходе эксплуатации (см. 7.3), и
- наименьший ток коротких замыканий (см. 7.4);

d) защитная схема от пониженного и несимметричного напряжения должна предотвращать возникновение тока перегрузки оборудования системы обеспечения безопасности (в основном вращающегося оборудования), отключая его. Система защиты постоянного тока должна обеспечивать защиту по

термической стойкости, отрицательной фазировки (т. е. несимметричных нарушений) и несимметричного DC смещения. Она должна также защищать от разбалансированных эксплуатационных условий, насколько это применимо к различным компонентам станции и эксплуатационным ситуациям;

e) при пониженном или разбалансированном напряжении систему электроснабжения для обеспечения безопасности следует, после приемлемой задержки, отделить от пониженного напряжения питания и перевести на резервный источник переменного тока.

Когда используются схемы для резервирования (часто с логикой «два из трех») для контроля за напряжением, то конфигурация оборудования и принцип измерения должны быть способны обнаружить аналогичное уменьшение питания;

f) следует провести скоординированное исследование полной системы защиты, демонстрирующей устойчивость всей электрической системы к перенапряжениям;

g) следует осуществлять мониторинг электроэнергетической системы, чтобы подать аварийный сигнал или вызвать срабатывание при обнаружении нарушенной изоляции относительно земли. При координированном исследовании следует продемонстрировать устойчивость всей электроэнергетической системы.

7.5.2 Приемочные требования

Исследования по координации электрической защиты должны верифицировать следующее:

a) нарушенные цепи должны быть селективно отключены;

b) пониженное напряжение или разбалансированное напряжение должно быть обнаружено, и предприняты корректирующие меры;

c) электроэнергетическая система должна быть защищена от опасного перенапряжения;

d) срабатывание защит системы электроснабжения оборудования, важного для безопасности, в ходе устранения нарушений или аварийного режима работы должно быть оценено для анализа воздействия на выполнение функций безопасности.

8 Анализ системы постоянного тока и системы бесперебойного питания переменного тока

8.1 Исследования потокораспределения

8.1.1 Общие положения

Анализ потокораспределения является важной частью расчетов электрической системы, поскольку в нем оцениваются рабочие характеристики сети в режиме нормальной, нарушения нормальной эксплуатации и аварийной работы, и устанавливаются граничные условия.

Примечание — Как правило, пиковая нагрузка появляется при поступлении аварийного сигнала, совпадающего с потерей внешнего питания.

Система DC и система бесперебойного питания AC должны поддерживать достаточное напряжение на шинах при потере внутреннего и внешнего питания AC.

8.1.2 Рекомендации

Даны следующие рекомендации:

a) исследования потокораспределения, включая эксплуатационную продолжительность нагрузок для системы DC, следует использовать для верификации следующих аспектов:

- емкости батареи,
- нагружения элемента или цепи,
- напряжения на шине и на нагрузке в ходе зарядки аккумуляторной батареи, подзаряда и разряда батареи.

Следует помнить, что напряжение на шине и на нагрузке в ходе подзаряда или уравновешивающего заряда не должно быть выше, чем расчетные характеристики подсоединенных нагрузок;

- напряжения нагрузки при нормальных и аварийных условиях, включая броски тока;

b) следует проанализировать способность аккумуляторных батарей обеспечивать электропитание нагрузки в соответствии с профилями нагрузки в ходе расчетного времени разряда. Профиль напряжения на клеммах элемента следует оценить в конце расчетного срока службы аккумуляторной батареи при минимально допустимой температуре окружающего воздуха, с учетом того, что:

- нагрузки могут вызывать переходный ток, и это следует учитывать при подборе размера батареи и эксплуатации защитного оборудования, и

- ток включения и общий ток для некоторых нагрузок (таких как реле сцепления или катушки отключения) может длиться в течение нескольких секунд. При расчетах с запасом такие конкурентные нагрузки следует учитывать для полной минуты и добавлять к другим таким нагрузкам в течение той же минуты;

c) исследования потокораспределения для систем бесперебойного питания переменного тока (источник тока UPS или инвертор) следует использовать для верификации:

- нагружения элемента или цепи,
- напряжения на клеммах нагрузки (с учетом падения напряжения от шины к нагрузке) в нормальных, нарушении нормальных и аварийных условиях,
- способности аккумуляторной батареи по мере приближения остаточной емкости в конце сертифицированного срока службы (изготовители аккумуляторных батарей предоставляют подробную информацию о сроке службы батареи, кривые разряда остаточного напряжения элементов и время, оставшееся до окончания срока службы), и
- профиля напряжения на клеммах элемента, оцениваемого при минимально допустимой температуре окружающей среды.

8.1.3 Приемочные требования

Исследования потокораспределения должны верифицировать следующее.

a) емкость батареи должна соответствовать расчетным требованиям;

b) мгновенное напряжение в течение первой(ых) минуты (минут) события, связанного с потерей питания AC, должно быть достаточным для запуска и эксплуатации всех требуемых нагрузок, включая пиковую нагрузку;

c) анализ потокораспределения должен продемонстрировать достаточную емкость батареи для обеспечения пуска и работы в установившемся режиме всех нагрузок, которые нужны после потери питания переменного тока.

8.2 Исследования в переходном режиме

8.2.1 Выпрямитель

8.2.1.1 Рекомендация

Исследования в переходном режиме, выполненные в соответствии с 7.3, должны верифицировать, что напряжение системы DC будет поддерживаться (как показано тестами или имитацией) в приемлемом диапазоне при переходном режиме входного напряжения AC:

- кратковременные посадки и прерывания напряжения с возвратом номинального напряжения;
- кратковременные посадки и прерывания напряжения с возвратом высокого напряжения;
- переходные процессы высокого напряжения;
- гармонические волны на входе выпрямителя;
- работа без подключенной батареи.

Работа без подключенной аккумуляторной батареи в принципе не разрешается, смысл заключается в том, чтобы дать время для корректирующих действий или запланированного останова.

8.2.1.2 Приемочные требования

Исследования должны верифицировать следующее:

a) нарушения на входе системы AC должны быть ослаблены или ограничены до приемлемого уровня, чтобы гарантировать, что функциональность системы DC или системы бесперебойного питания переменного тока сильно не нарушена;

b) функциональная способность системы DC или системы бесперебойного питания AC не должна быть снижена из-за резкого отклонения напряжения, такого как коммутационное перенапряжение или броски тока в сети AC, питающей цепи выпрямителя.

8.2.2 Инвертор/система бесперебойного питания и шунтирующий выключатель

8.2.2.1 Рекомендации

Рекомендуется сделать следующее:

a) при исследованиях в переходном режиме, выполненных в соответствии с 7.3, следует верифицировать, что выходные напряжения системы UPS остаются в приемлемом диапазоне в ходе резкого изменения входного напряжения AC:

- прерывание напряжения с возвратом к номинальному напряжению;
- прерывание напряжения с возвратом к высокому напряжению;
- перенапряжения.

Нарушения на входе системы AC (включая высоковольтную электросеть) следует ослабить и ограничить до приемлемого уровня, чтобы не допустить негативного воздействия на функциональность UPS;

b) при исследованиях перенапряжения, выполненных в соответствии с 7.3 и 9.1, следует верифицировать, что любое перенапряжение не окажет воздействия на шунтирующий выключатель.

Примечание — Примером этого является повышенное напряжение обратной полярности.

8.2.2.2 Приемочные требования

Функциональная возможность системы UPS не должна уменьшаться из-за нарушений напряжения, таких как кратковременное отключение питания, коммутационные перенапряжения или броски тока в системе AC, питающей цепи UPS.

8.3 Исследования отказов

8.3.1 Исследования короткого замыкания

8.3.1.1 Рекомендация

При исследованиях коротких замыканий следует верифицировать в соответствии с требованиями МЭК 61660, что любое короткое замыкание будет обнаружено и устранено (или будет подан аварийный сигнал) в приемлемое время для минимальных и максимальных условий отказа. Отказы могут быть вызваны либо замыканием на землю, либо между проводниками под напряжением.

8.3.1.2 Приемочные требования

Исследования коротких замыканий должны верифицировать следующее:

a) защитные устройства для систем DC и систем бесперебойного питания должны обнаруживать все неисправности в системе;

b) не должны превышаться номинальные параметры оборудования;

c) критическая функция систем DC и AC по обеспечению безопасности станции должна учитываться при определении требований к отключению неисправных цепей;

d) UPS переменного тока должны обеспечивать достаточный ток для работы защитных устройств с целью устранения короткого замыкания.

8.3.2 Исследования замыкания на землю (нарушенная изоляция)

8.3.2.1 Рекомендация

Системы DC и системы бесперебойного питания AC, которые глухо заземлены, требуют особого внимания при работе с одной фазой/полюсом в условиях отказа. При исследованиях по замыканию на землю для этих систем следует верифицировать, что нарушенная изоляция будет обнаружена до нежелательного срабатывания или утраты работоспособности оборудования, важного для безопасности.

8.3.2.2 Приемочные требования

Если защитные схемы не обладают функцией срабатывания на условия замыкания на землю (такие как при заземлении через системы импеданса), то работающее оборудование должно демонстрировать способность выполнять предназначенные функции.

8.4 Исследования по координации электрической защиты

8.4.1 Рекомендации

Рекомендуется сделать следующее:

a) селективность должна быть адекватной для всех имеющихся источников питания.

В результате исследований коротких замыканий следует установить величину токов, протекающих по энергетической системе в различные периоды времени после возникновения нарушения, а также оценить параметры и уставки защитных устройств системы, таких как элементы измерения, плавкие предохранители и автоматические выключатели. Величина тока при замыкании на землю зависит от метода заземления системы;

b) защитная схема должна селективно отключить оборудование, расположенное вблизи нарушенной части системы, чтобы предотвратить дальнейшее распространение повреждения системы. Схема должна с минимальным нарушением системы обеспечить непрерывность подачи электропитания на неповрежденные части энергосистем. Расчеты по координации электрической защиты определяют оптимальные уставки для достижения высокой готовности электроэнергетических систем с учетом всех эксплуатационных условий, включая энергопитание от резервных источников;

c) схема защиты от напряжения должна работать таким образом, чтобы не допустить срабатывания защиты от перегрузки оборудования системы обеспечения безопасности, делая его неработоспособным;

d) схема защиты от понижения напряжения должна выдавать аварийный сигнал, когда это необходимо, и инициировать переход на резервное энергопитание;

e) электроэнергетическую систему следует защитить от опасного воздействия перенапряжения. Следует провести координированное исследование всей системы защиты от перенапряжения, чтобы продемонстрировать устойчивость всей электроэнергетической системы к перенапряжениям;

f) отключение системы электроснабжения для обеспечения безопасности при ликвидации аварийного режима следует проанализировать с учетом функции безопасности.

8.4.2 Приемочные требования

Нарушенные цепи должны быть селективно отключены, за исключением тех участков, которые считаются необходимыми в соответствии с требованиями безопасности.

9 Другие аналитические исследования

9.1 Исследования молниезащиты

9.1.1 Общие положения

Удары молнии:

- в здания,
- в непосредственной близости от NPP,
- в линии электропередач

могут вызвать нарушения и повреждения электрических и электронных систем.

Последствия попадания молнии следует уменьшить за счет конструктивных элементов, таких как клетки Фарадея (экраны), сети эквипотенциальных соединений, трансформаторов, экранирования кабелей, проектирования схемы прокладки кабелей и дополнительной молниезащиты, при необходимости. Эти положения следует выявить и обосновать до начала любого анализа действия молний.

Система молниезащиты должна подтвердить соответствие требованиям МЭК 62305-1, МЭК 62305-3 и МЭК 62305-4.

9.1.2 Рекомендация

Система молниезащиты должна значительно уменьшить воздействие молнии для обеспечения того, чтобы воздействие молнии было слабее защиты от магнитных полей защищаемого оборудования.

Когда используются модель и имитирующее устройство, то они должны быть пригодны для исследования высокочастотных явлений.

9.1.3 Приемочные требования

Результаты аналитических исследований должны демонстрировать с достаточными допущениями, что перенапряжения из-за удара молнии не создают проблем для защищаемого оборудования и ниже расчетных значений, заложенных в проектные основы. Индуцированные напряжение/токи должны находиться в проектных пределах.

9.2 Электромагнитная совместимость

9.2.1 Общие положения

Следует определить требования к квалификации оборудования с точки зрения электромагнитного излучения и/или устойчивости к его воздействию (например, МЭК 62003). В то же самое время очень важно использовать передовые методы для выполнения таких работ, как:

- разделение,
- укладка кабелей,
- экранирование кабелей,
- эффективное экранирование зданий/помещений/панелей,
- принципы заземления,
- и т. п.

9.2.2 Рекомендация

Выполнение этих требований следует верифицировать при оценке проекта.

9.3 Исследования гармонических волн

9.3.1 Общие положения

При использовании частотно-регулируемых приводов и других коммутирующих средств, подсоединенных к электроэнергетической системе, формирование гармонических волн и их распространение и воздействие на другие нагрузки следует учитывать.

9.3.2 Рекомендация

Следует исследовать электрическую распределительную систему в отношении гармонического возмущения и распространения несинусоидных токов, создаваемых нелинейными нагрузками, подсоединенными к шинам. В исследование следует включать оценку THD в точке общего присоединения и их воздействия на все подсоединенные нагрузки в точке общего присоединения. Следует оценивать нагрузки, прямо подсоединенные к шине, чтобы гарантировать, что их характеристики включают THD.

9.4 Индуцированный геомагнитный ток

Обоснованная техническая оценка должна продемонстрировать, что проектные решения в достаточной мере снижают риски GIC на NPP.

Следует помнить, что следует предпринимать (в основном TSO) защитные меры против GIC.

9.5 Феррорезонасные исследования

Техническая оценка на основе анализа чувствительных факторов должна обосновать адекватность снижения риска феррорезонанса.

Приложение А
(справочное)

Формирование проектных основ для электроэнергетических систем атомных станций

А.1 Краткий обзор

Атомные станции после останова ядерного реактора продолжают в течение продолжительного времени вырабатывать значительное количество тепла. Существующие конструкции NPP предусматривают, что тепловая мощность реактора сразу после останова составляет около 7 % от мощности до останова, и она снижается до уровня менее 2 % через час, 0,5 % через сутки и продолжает и далее постепенно снижаться. Поэтому система охлаждения реактора должна продолжать работать в течение нескольких дней после останова реактора, чтобы не допустить перегрева и повреждения активной зоны реактора. Поэтому следует обеспечить надежные системы охлаждения, и для этих систем требуются надежные и разнотипные источники электроснабжения. В зависимости от конструкции NPP электроэнергия требуется для большинства (или всех) функций безопасности.

Концепция глубокоэшелонированной защиты предусматривает передачу электропитания на резервные источники, когда предпочтительное электропитание недоступно.

При исследованиях перехода электроэнергетической системы на резервные источники питания следует учитывать критерии напряжения, времени (перерыва питания). Примеры выполняемых исследований даны ниже:

- переход в режим нагрузок на собственные нужды после потери питания от сети,
- переход на резервные внешние источники питания переменного тока (например, переход с трансформатора собственных нужд (ТСН) на резервный трансформатор) после потери основного генератора, или недоступности питания от сети,
- переход на резервные источники питания после потери внешних источников питания и основного генератора,
- переход на альтернативные источники переменного тока после потери резервного питания (события SBO).

Проектные основы в части электротехнике зависят от конкретной станции. В приложении А представлены рекомендации в отношении критериев, которые необходимо учитывать в проекте станции и рассматривать при внедрении модификаций на станции. Кроме того, передающая сеть и источники выработки вокруг станции также могут совершенствоваться в течение срока службы станции, и требуется пересматривать их воздействие на электроэнергетическую систему станции. Дальнейшие указания можно найти в Руководстве по безопасности МАГАТЭ SSG-34, в котором раскрываются вопросы проектирования электроэнергетических систем атомных станций.

В проектных основах указаны необходимые функциональные задачи, технические требования, требуемые рабочие характеристики, эксплуатационные условия и условия внешней среды, а также необходимая надежность.

Электротехнические проектные основы должны охватывать все режимы работы, а также учитывать характеристики всех возможных взаимодействий электрических и механических систем. Это должно включать насосы с электродвигателем, работающие в условиях самозапуска, переходных процессах при коммутации, пусках электродвигателей, внешних и внутренних событиях, и т. п., которые могут влиять на перетоки мощности и уровень напряжения в электроэнергетической системе станции. В основах также следует учитывать условия внешней среды, такие как температура, давление и влажность в ходе нормальной, нарушении нормальной эксплуатации, включая аварии, рассматриваемые как проектные условия.

Рекомендации, приведенные в приложении А, фокусируются на электрических аспектах проектных основ и не включают дополнительных аспектов за счет таких факторов, как внешние условия (т. е. температура, влажность, и т. п.) или внешние события (сейсмические, наводнения, пожары, высокоэнергетические электромагнитные импульсы, и т. п.), которые могут воздействовать на параметры оборудования или требования к защите. Внешние события типа удара молний и геомагнитных бурь включены. Входные данные и процесс показаны на рисунке А.1.

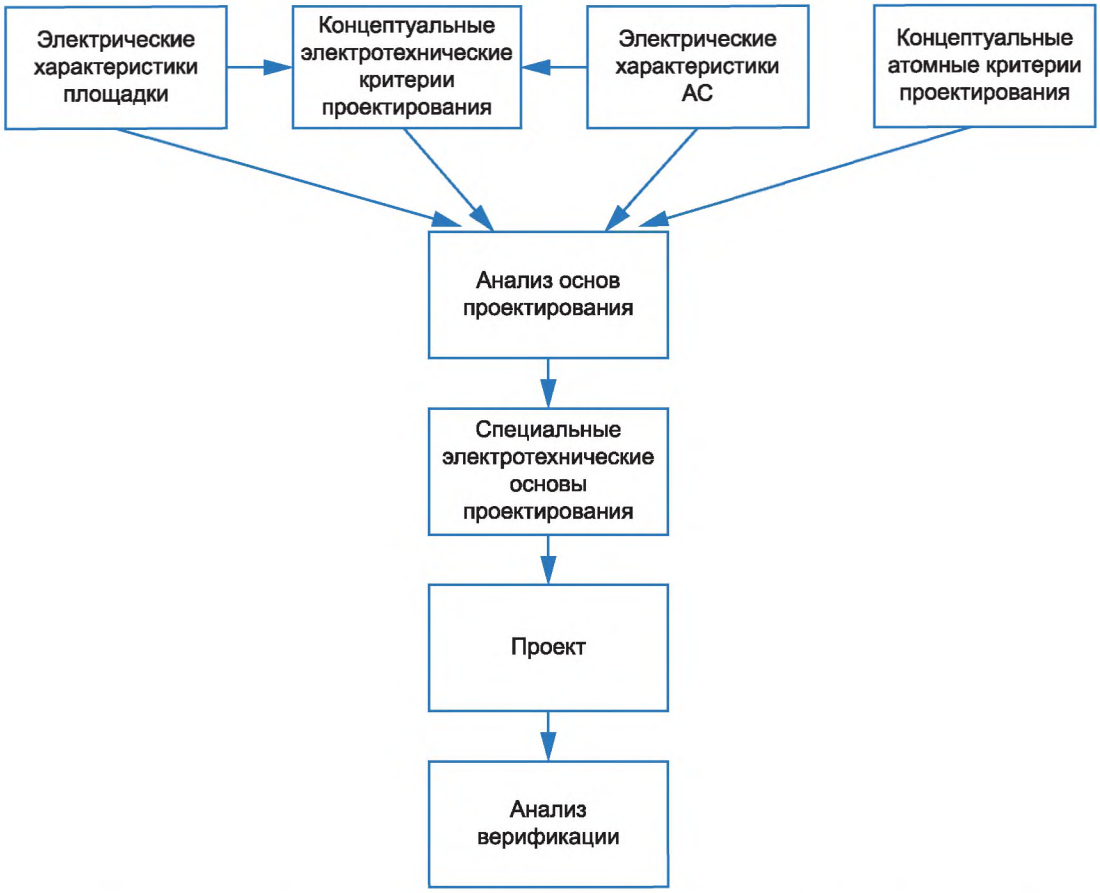
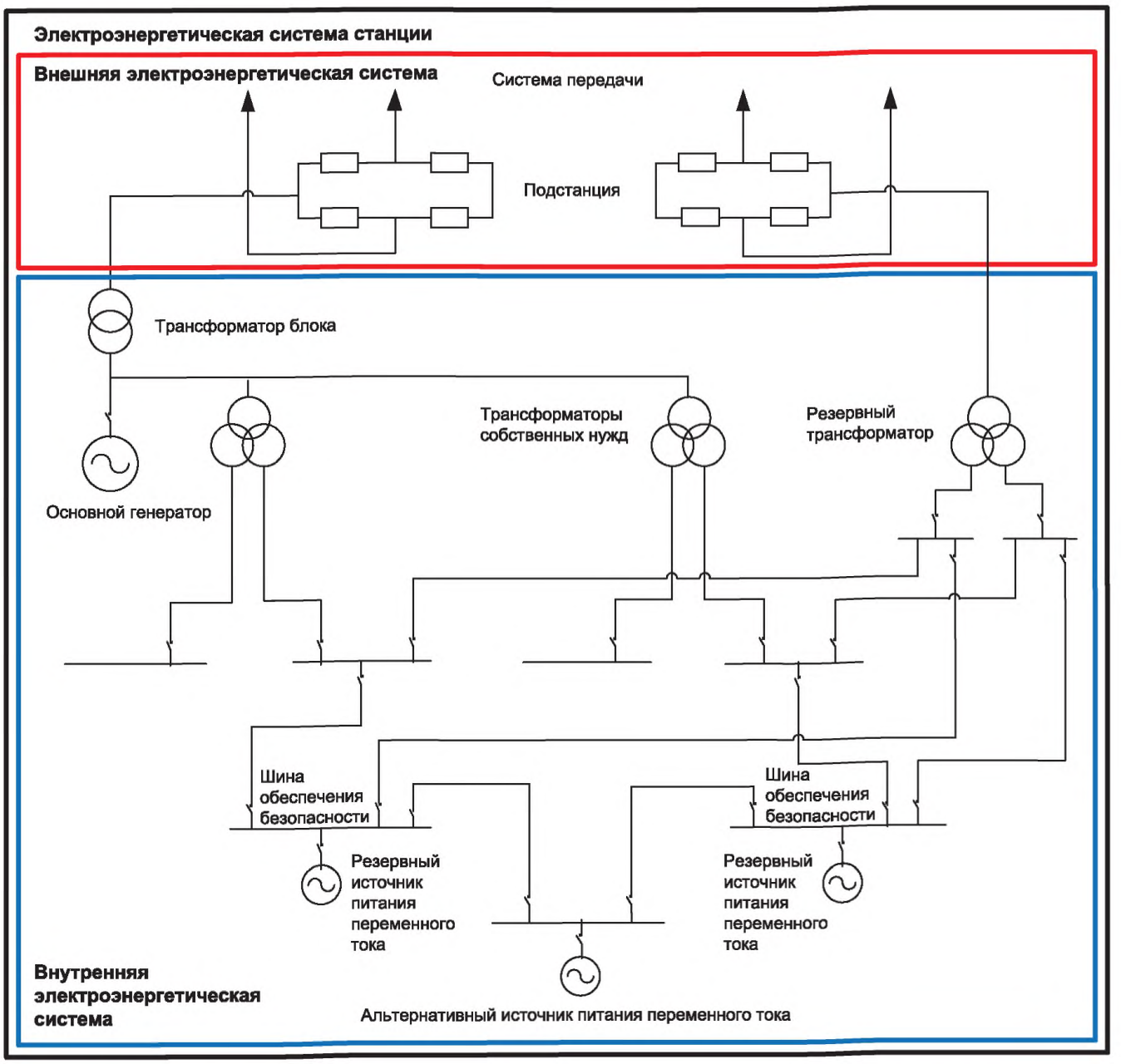


Рисунок А.1 — Входные данные и процесс по определению электротехнических проектных основ для атомных станций, а также анализы верификации

В ходе нормальной работы электроэнергетических систем системы безопасности, как правило, получают питание от систем, не относящихся к безопасности и соединенных с системами, не являющимися важными для безопасности. На рисунке А.2 показана взаимосвязь электроэнергетической системы станции, внешней электроэнергетической системы и внутренней электроэнергетической системы. На рисунке А.3 показана связь электропитания, важного для безопасности, подача питания для систем безопасности и подача предпочтительного электропитания для атомной станции.

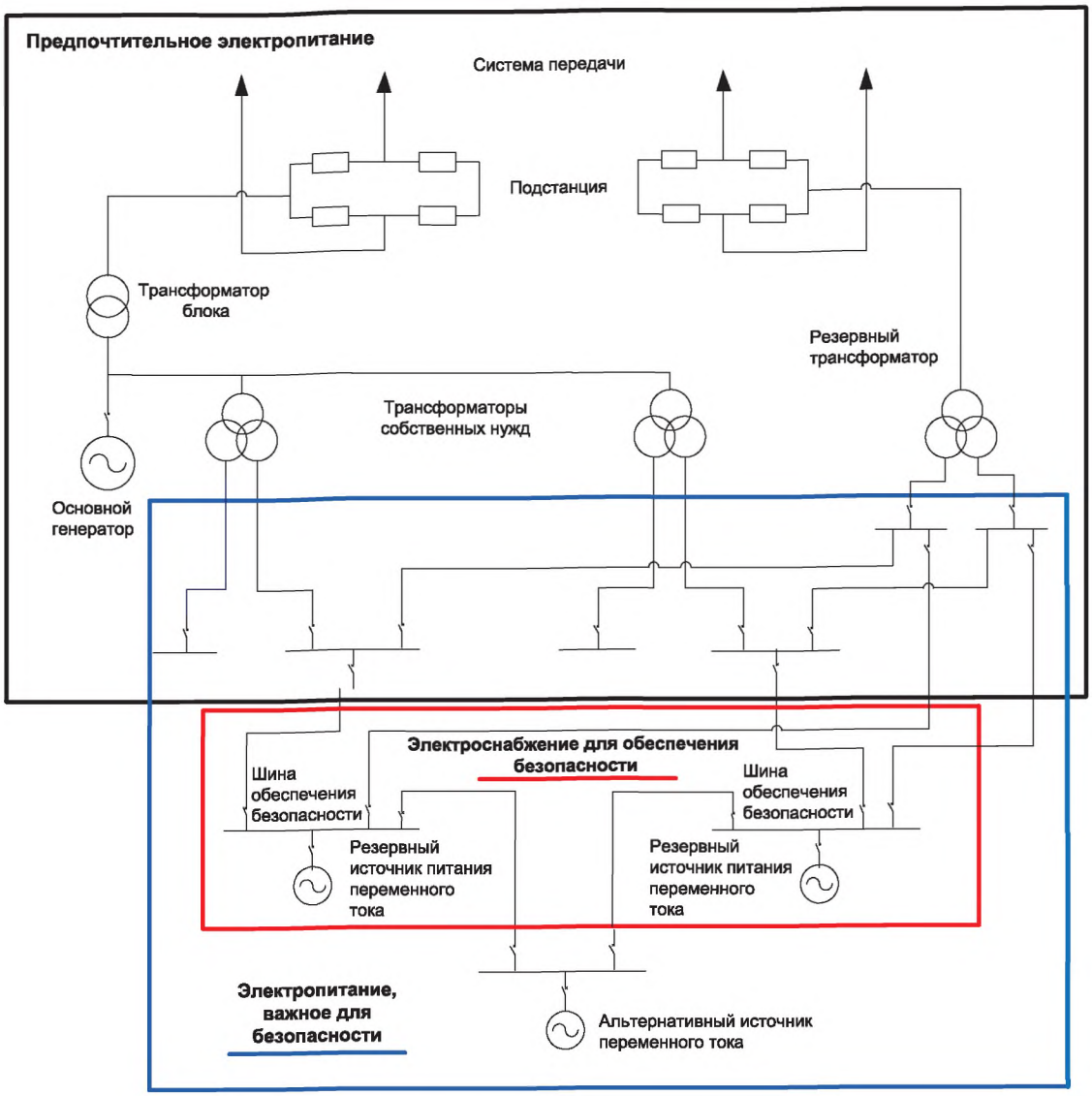
Чтобы иметь надежное электропитание системы обеспечения безопасности, должны быть сформированы проектные основы для всех конфигураций электроэнергетической системы в аналитических исследованиях атомных станций и электроэнергетических систем, и они должны охватывать все взаимодействующие части электроэнергетических систем. Для площадок с несколькими блоками с совместно используемыми системами следует рассмотреть все конфигурации для нормальной и нештатной работы.

Останов NPP с целью перегрузки или планового техобслуживания, как правило, выполняется, когда требуемая нагрузка на объединенную энергосистему находится на самом низком расчетном уровне со стороны TSO. В ходе этого режима с небольшой нагрузкой на систему передачи емкостный компонент линий электропередач, соединенных с минимальной нагрузкой вспомогательных систем станции, может привести к повышению напряжения на шинах станции. Следует оценивать последствия пуска и работы вспомогательных систем станции в этих условиях.



Примечание — Данный рисунок приведен только в качестве примера. Конструкции станции включают различные компоновки и номенклатуру для шин, нагрузок, генераторов и взаимосвязей. На этом рисунке изображены не все элементы (например, системы DC) электроэнергетической системы (из IAEA SSG-34)

Рисунок А.2 — Связь электроэнергетической системы станции, внешней электроэнергетической системы и внутренней электроэнергетической системы атомной станции



Примечание — Этот рисунок дан только в качестве примера. Конструкция станции охватывает различные компоновки и номенклатуру для шин, нагрузок, генераторов и взаимосвязей. К тому же многие элементы системы станции, такие как шины, не важные для безопасности систем электропитания постоянного тока, не показаны. Этот рисунок предназначен только для представления связи между элементами электроэнергетической системы станции, которые имеют классификацию по безопасности и предпочтительное электропитание. Элементы предпочтительного электроснабжения, которые не важны для электроснабжения элементов безопасности не входят в классификацию по безопасности станции. Элементы системы, включенные в набор элементов, которые важны для электроснабжения системы безопасности, будут отличаться в соответствии с проектом станции и применяемых методов классификации. Некоторые проектные решения станции могут не требовать наличия резервных источников питания обеспечения безопасности. Все атомные станции должны иметь источники электроснабжения постоянного тока для обеспечения безопасности (из Руководства по безопасности МАГАТЭ SSG-34)

Рисунок А.3 — Связь электроснабжения, важного для обеспечения безопасности, электроснабжение безопасности и предпочтительное электроснабжение атомной станции

А.2 Электрические характеристики площадки

А.2.1 Общие положения

Взаимосвязанная электроэнергетическая система представляет собой большую и сложную сеть, и имеется естественная взаимная зависимость между различными частями системы. Таким образом, физически разобщенные части системы могут взаимодействовать неожиданным образом с объединенной системой. Поэтому на отклик внутренней электроэнергетической системы влияет конфигурация электросети, нагружение станции и ее конфигурация.

Анализ энергетической системы связан с пониманием работы электросети и внутренней электроэнергетической системы. В целом анализ системы следует проводить, когда система работает в стационарных условиях, а при нарушениях — в динамических условиях.

Анализ в стационарном режиме предполагает, что переходные условия от нарушений уже закончились и система находится в состоянии равновесия. Нагрузки системы, включая потери в системе передачи, равны количеству вырабатываемой энергии, поэтому частота в системе постоянная.

В исследования электроэнергетической системы конкретной станции следует включать все предполагаемые конфигурации системы передачи, а также режимы работы станции, чтобы установить номинальные параметры оборудования и получить надежную схему внешней системы.

Номинальные характеристики различных компонентов электроэнергетической системы, таких как генераторы, шины, кабели и трансформаторы, следует определять посредством баланса мощности.

А.2.2 Нарушения в сети

Нарушения в электросети в переходных условиях, которые могут повлиять на внутренние электроэнергетические системы, следует исследовать как часть анализа проектных основ. События, подлежащие рассмотрению, включают симметричные и несимметричные нарушения, мгновенные возмущения в электросети, такие как коммутационные возмущения или удары молнии, переключения конденсаторов и трансформатора, а также события, такие как потеря элементов системы передачи, потеря самой крупной нагрузки, отключение блоков NPP (многоблочные станции, если они подсоединены к общему внешнему источнику) и неполнофазный режим или пониженное напряжение.

Для станций с несколькими (двумя или более) независимыми источниками электроснабжения следует учитывать и оценивать одновременные или поочередные события по всему электроснабжению (наихудший сценарий) в отношении отклика станции во всех режимах работы, которые определены проектом.

А.2.3 Мощность короткого замыкания

Отказы в электроэнергетических системах возникают из-за пробоя изоляции, внешних событий, таких как удары молнии, человеческого фактора или неисправности оборудования. Общие типы отказов включают:

- однофазное замыкание на землю,
- междуфазное короткое замыкание,
- двухфазное замыкание на землю,
- трехфазное замыкание.

Токи коротких замыканий в несколько раз могут превышать номинальный ток. Однофазные замыкания на землю являются наиболее распространенными, в то время как трехфазные замыкания на землю, как правило, наиболее сильные.

Токи коротких замыканий генерируют разрушительные тепловые и электромагнитные силы. Должна действовать защитная схема с соответствующими уставками, чтобы защитить оборудование от токов коротких замыканий.

Комплексные исследования отказов выполняются, чтобы определить токи коротких замыканий во всех эксплуатационных конфигурациях для определения номинальных характеристик оборудования.

Максимальные и минимальные значения токов коротких замыканий должны быть определены, чтобы определить уставки защиты для адекватной защиты электрооборудования.

Исследования коротких замыканий системы передачи следует выполнять для верификации, что все оборудование подстанции способно выдерживать и отключать ток коротких замыканий. Подпитку коротких замыканий через систему передачи следует учитывать при выборе параметров электрических компонентов, снабжающих током вспомогательное оборудование.

Как правило, конфигурация, которая создает наибольший ток коротких замыканий, используется в качестве основы для проектирования станции. Для исследования этого характерного случая все элементы передачи и генерирования, включая внутреннее вращающееся оборудование, следует учитывать в расчете. Тем не менее все возможные конфигурации системы передачи, которые могут воздействовать на станцию, следует изучить с целью валидации максимального тока коротких замыканий при определении параметров оборудования и минимального тока коротких замыканий для координации защиты.

Продолжительность и местоположение коротких замыканий определяют адекватность защитных схем, чтобы гарантировать, что такое событие не приведет к увеличению скольжения и выпадению из синхронизма синхронного генератора. Быстрое обнаружение и отключение короткого замыкания, как правило, дает уверенность, что выпадение из синхронизма или другие условия не возникнут (например, осцилляции активной мощности, реактивной мощности или напряжения в точке короткого замыкания).

Для станций с несколькими внешними связями следует учитывать влияние таких связей на все электроснабжение.

А.2.4 Молниезащита и координация изоляции

Координация изоляции представляет собой ряд шагов, используемых для определения диэлектрической прочности оборудования по отношению к рабочему напряжению и переходным перенапряжениям, которые могут возникнуть в системе. Условия перенапряжения могут возникнуть из-за коммутационных перенапряжений, неравномерно нагруженных фаз и очень часто за счет ударов молний. В большинстве случаев удары молний оказывают наибольшее воздействие на электроэнергетическую систему станции. Поэтому важно оценить воздействие мол-

нии и вероятную частоту возникновения молний. Наибольшая величина будет формировать основу проектирования для защиты электрического оборудования и определения параметров сети заземления.

Кратковременные переходные перенапряжения за счет разрядов молнии могут вызвать повреждение оборудования, неисправности системы или прерывания электроснабжения на атомных станциях, если станции не имеют достаточной защиты от таких воздействий. Тем не менее адекватная конструкция оборудования и системы может существенно снизить или смягчить неблагоприятные последствия перенапряжения.

Для защиты от воздействия ударов молний молниезащита должна включать устройства, рассеивающие нагрузку от удара молнии, разрядные проводники и эффективную систему заземления.

Вторичное воздействие ударов молнии, такое как потенциально опасные перенапряжения и электромагнитные взаимодействия, может распространяться на внутренние конструкции и влиять на работу системы безопасности и системы, важные для безопасности. Чтобы защитить от такого воздействия, система защиты должна включать соответствующие системы заземления отдельного оборудования и защиту от перенапряжений. Меры по защите от перенапряжений будут включать защиту станции, вспомогательных блоков, которые могут влиять на безопасность, подстанции, электрической распределительной системы, низковольтной системы контрольно-измерительных приборов и управления, а также системы связи.

Выбор защиты от перенапряжений, как правило, зависит от местоположения устройств и номинальных характеристик, которые необходимы для недопущения попадания энергии от удара молнии на оборудование NPP и ее электрические компоненты.

А.2.5 Характеристики заземления

Основное предназначение заземления заключается в предотвращении поражения людей электрическим током и снижении перенапряжения, которое может повредить оборудование. Чтобы выполнить требования по молниезащите и электромагнитной совместимости (EMC), должна быть выполнена эффективная система заземления.

Очень важно определить сопротивление грунта и максимальные токи в электросети, чтобы спроектировать систему заземления станции. Напряжение прикосновения и напряжение шага прямо пропорциональны этим значениям. Расположение NPP (как например, вблизи крупных водоемов или скальной поверхности) требуют проведения анализа с учетом конкретной станции, поскольку на каждой площадке сопротивление грунта будет разное.

Основные цели системы заземления:

- гарантировать целостность оборудования и непрерывность его работы в условиях отказа, т. е. предоставить способ и средства передачи и рассеивания электрических токов в землю;
- обеспечить, чтобы персонал, работающий или идущий вблизи заземленных установок, не мог пострадать от опасных ударов электрического тока.

Система заземления с малым сопротивлением обеспечивает безопасность работы оборудования и персонала и защищает их от поражения электрическим током. Цель проектирования эффективных систем заземления — снизить электрический потенциал на поверхности земли, напряжение прикосновения и напряжение шага для станций и трансформаторных подстанций. Чтобы достигнуть указанных целей, эквивалентное электрическое сопротивление контура заземления системы должно быть достаточно низким, чтобы гарантировать рассеивание токов коротких замыканий в основном через сеть заземления в землю, в то время как максимальная разность потенциалов между близкими точками на поверхности земли должна поддерживаться на уровне конкретных допусков (напряжение шага, напряжение прикосновения и междуфазное напряжение).

ЭДС прикосновения образуется, когда ток замыкания на землю протекает через оборудование и создает распределение потенциала на заземленной поверхности. Безопасный уровень ЭДС прикосновения, как правило, определяется на указанном в проекте расстоянии по горизонтали и вертикали от электрооборудования.

Напряжение шага представляет собой напряжение на поверхности земли на указанном расстоянии между ногами человека (как правило, 0,8 м). Тип грунта и схема заземления станции, как правило, определяют напряжение шага. В однородном грунте напряжение шага в целом достаточно мало из-за более низкого сопротивления грунта.

Увеличение потенциала земли обусловлено обрывом заземляющего проводника, повышением напряжения на заземляющем устройстве, когда ток заземления стекает с заземлителя в землю. Сдвиг потенциала, вызванный увеличением потенциала земли, может представлять угрозу для оборудования и операторов.

А.3 Электрические характеристики станции

А.3.1 Общие положения

Электрические характеристики станции важны для определения рабочих характеристик важных нагрузок и взаимодействия в рамках интегрированных систем в ходе постулируемых режимов работы и останова. Анализ конструкции и основы проектирования определяют рабочие диапазоны профиля допустимого напряжения в электроэнергетической системе станции.

А.3.2 Характеристики основного генератора

Проектные данные определяют уровень напряжения, диапазон напряжения и диапазон частот, а также нагрузочную способность по реактивной мощности.

Проектные данные определяют максимальное повышение напряжения при потере нагрузки (режим нагрузок на собственные нужды), при совпадении с высоким возбуждением. Проектные данные также определят максимальное и минимальное напряжение, при совпадении с неисправностью системы возбуждения.

А.3.3 Резервные источники питания переменного тока и альтернативные источники питания переменного тока

Резервные источники питания переменного тока выбраны для использования во внутренней электроэнергетической системе и должны быть способны делать следующее:

- обеспечивать запуск (самозапуск) и разворот ряда крупных нагрузок в виде электродвигателей в быстрой последовательности, поддерживая напряжение и частоту в допустимых пределах;
- незамедлительно подавать питание на нагрузки обеспечения безопасности, если внешняя энергетическая система потеряна вследствие проектного события. Общее время на пуск и разворот нагрузок обеспечения безопасности должно удовлетворять допущениям в анализах аварий в отношении работы систем безопасности, таких как насосы и запорная арматура;
- непрерывно подавать питание на оборудование, обеспечивающее ядерную безопасность, в продолжительном режиме.

Характеристики нагрузок, которые нужны для безопасного останова станции должны быть определены, чтобы стать основой для выбора аварийных источников электроснабжения, которые способны воспринимать большие нагрузки в быстрой последовательности.

Большинство указанных аварийных нагрузок, как правило, представляют большие асинхронные электродвигатели, которые создают сильный бросок тока при пуске. Эти броски тока при пуске асинхронных электродвигателей могут привести к существенным понижениям напряжения генератора, и могут привести к существенным понижениям напряжения. Такое пониженное напряжение может замедлить способность электродвигателя быстро достичь полной частоты вращения, сделать невозможным успешный пуск последовательных нагрузок и вызвать остановку уже работающих двигателей.

Другие нагрузки, чувствительные к напряжению, также могут прекратить работу из-за падения напряжения в системе управления или срабатывания защитных устройств. Таким образом, специальные параметры, такие как значение нагрузки в кВт или кВА, максимально допустимое напряжение и падение частоты, которые могут выдерживать нагрузки, тип нагрузок (электродвигатели, молния, UPS, частотно-регулируемые приводы, и т.п.), а также предполагаемая продолжительность переходного состояния при пуске нагрузки, следует имитировать во всех деталях при анализе электроэнергетической системы.

На стадии проектирования внутренней электроэнергетической системы дополнительная емкость с учетом будущего увеличения нагрузки и неопределенность заключительных параметров предполагаемых нагрузок по безопасности должны быть учтены в критериях определения параметров. Резервные источники переменного тока следует адаптировать к пуску оборудования для обеспечения запуска, которое вычислено в анализе ядерной безопасности станции. Допустимая частота и диапазон напряжения должны обеспечивать, чтобы скорость и время разворота (запуска) вращающегося оборудования (насосы, задвижки с электроприводом) не оказывали отрицательного воздействия на допущения в анализе безопасности. В проекте также следует учитывать одновременный пуск крупных нагрузок в случаях, когда сигналы, относящиеся к технологическому процессу (температура, давление, уровень, и т. п.), могли бы привести в действие оборудование, когда уже достигнуты специальные параметры после пуска в необходимые сроки.

Проектные данные определяют уровень напряжения, диапазон напряжения и частоту, а также нагрузочную способность по реактивной мощности.

Проектные данные определяют максимальную выходную мощность и возможность перегрузки.

Резервные источники переменного тока должны иметь перегрузочную способность для быстрого восстановления частоты и напряжения.

Проектные данные определяют максимальное повышение напряжения после потери нагрузки, совпадающей с высоким возбуждением. Проектные данные будут также определять максимальное и минимальное напряжение, связанное с неисправностью системы возбуждения.

Проектные данные определяют максимально допустимое время пуска и достижения необходимой частоты и напряжения резервным источником переменного тока, позволяя системе обеспечения безопасности выполнить необходимые функции в допустимое время, указанное в анализах аварий.

Проектные данные определяют возможность резервных источников переменного тока работать параллельно с системой передачи, когда напряжение в системе может быть на максимально/минимально допустимом уровне.

Переходные состояния по частоте будут возникать в ходе выполнения последовательности подключения нагрузки. Воздействие на поток в насосе можно в целом игнорировать, пока эти вариации непродолжительные. Если время восстановления частоты продолжительное из-за больших или медленно запускающихся нагрузок, то следует оценивать вероятность опрокидывания двигателя или другого оборудования, в ходе пуска или работы.

Альтернативные источники переменного тока могут запускаться автоматически, но подключаться в ручном режиме по отношению к соответствующей шине переменного тока. Применяется тот же процесс, что и для резервных источников питания переменного тока, однако нагрузки не будут запускаться в быстрой последовательности.

А.3.4 Источники питания постоянного тока

Проектные данные определяют потребляемую мощность и длительность электроснабжения нагрузок.

Проектные данные определяют рабочие температуры, которые могут оказывать воздействие на размер и характеристики разряда аккумуляторной батареи (АБ).

Проектные данные определяют минимальные/максимальные уровни рабочего напряжения работающих нагрузок, а также способность аккумуляторной батареи отвечать требованиям к продолжительности нагрузки.

Начальное нагружение аккумуляторной батареи, когда требуется поддержать нагрузки станции при потере источников переменного тока, как правило, является важным фактором при определении падения напряжения и критерия выбора параметров.

Критерий выбора параметров должен учитывать различные типы нагрузки. Резистивные нагрузки имеют пониженный ток с пониженным напряжением, в то время как нагрузки при постоянной мощности потребуют более высокого тока с пониженным напряжением.

При анализах потока нагрузок и падения напряжения следует учитывать способность батарей удовлетворять проектным требованиям в конце полезного срока службы, когда емкость батарей пониженная.

А.4 Концептуальные критерии проектирования электрооборудования

А.4.1 Общие положения

Концептуальные электротехнические критерии проектирования описывают, что должно быть достигнуто при проектировании.

А.4.2 Мощность источников энергии

Внешние источники питания должны иметь мощность, необходимую для стабильного и непрерывного электроснабжения энергетических систем обеспечения безопасности.

Проект должен отвечать продолжительности, предусмотренной в основах проектирования для работы источников DC, обеспечивающих безопасность, при потере электроснабжения AC.

А.4.3 Координация защиты

Для снижения отказов с потерей функций безопасности требуется координация электрических защит. Действие защит в каждой группе нагрузок не должно зависеть от действий защит в резервной группе нагрузок. Координация защиты является важным фактором обеспечения готовности и надежности.

Когда имеется два или более последовательных защитных устройства между местом отказа и электропитанием, то устройства следует координировать для обеспечения того, что устройство, которое является самым близким к точке нарушения, будет работать первым для минимизации отключения сети. Смежные устройства следует спроектировать таким образом, чтобы обеспечить резервирование в случае отказа основного защитного устройства.

Координация селективности устройств токовой защиты достигается подбором оптимальных параметров тока и времени срабатывания при отказе, которые остаются селективными по отношению к другим устройствам в сети.

Следует учитывать необходимость со стороны электроэнергетической системы поддерживать работу нагрузок в условиях токовой перегрузки.

А.4.4 Переходное напряжение и прерывания напряжения

События в электросети или во внутренних источниках питания могут вызвать переходное напряжение и прерывания напряжения во внутренних электроэнергетических системах.

Эти события могут вызвать симметричные и несимметричные нарушения напряжения на станции и могут быть вызваны:

- в системе(ах) передач при работающей, неработающей и остановленной станции или в качестве последствия отключения станции от электросети из-за ожидаемых сбоев, или колебаниями напряжения и частоты выше допустимого уровня,
- отключением основного генератора и перехода вспомогательных систем станции на внешние или внутренние источники питания,
- во внутренних энергетических системах как результат электрического события, такого как пуск электродвигателя, замыкание на землю или коммутационные перенапряжения.

Электрическое оборудование должно быть спроектировано так, чтобы оно могло выдерживать переходное напряжение или имело достаточную защиту для обеспечения работоспособности компонентов электроэнергетической системы. В некоторых случаях специальная защита может отключить оборудование (например, выпрямитель) при неприемлемом уровне переходного напряжения, чтобы защитить его или смежное оборудование, которое имеет более важное значение для безопасности станции (например, инвертор).

А.4.5 Способность коммутации между источниками электропитания

В проекте следует предусмотреть средства для коммутации между источниками питания в системе электропитания, важной для безопасности.

А.4.6 Способность пуска и перезапуска электродвигателей

Электроэнергетическая система и система защиты должны быть спроектированы для пуска электродвигателей при допустимых отклонениях частоты и напряжения, а также с пониженным напряжением.

Проектные решения и координация защиты нужны для обеспечения функции перезапуска электродвигателя после провала или прерываний напряжения, а также после понижения частоты.

А.4.7 Заземление системы

Конструкции систем заземления на атомных станциях варьируются в зависимости от их времени проектирования. Некоторые атомные станции имеют четыре концептуально распознаваемые, но необязательно физически различимые, системы заземления: для обеспечения электробезопасности персонала, молниезащиту, систему

электропитания, систему управления и контроля, включая специальное заземление. Все системы заземления в конечном итоге подсоединены к заземлителям. Хорошо спроектированная система заземления станции необходима для защиты электросети и оборудования станции от замыканий на землю и ударов молний.

Система заземления и система выравнивания потенциалов вносят вклад:

- в безопасность персонала,
- в молниезащиту,
- в защиту от нарушений в электроэнергетической системе,
- в защиту от электромагнитных излучений электрических систем и систем управления и контроля.

Необходимо, чтобы сеть заземления была спроектирована:

- для выдерживания энергии от ударов молнии и тока коротких замыканий электросети, и
- чтобы не допустить опасного шагового напряжения или напряжения прикосновения.

Система выравнивания потенциалов должна быть спроектирована так, чтобы не допустить перенапряжений, которые могут:

- вызвать травмы персонала в случае короткого замыкания, и
- повредить или серьезно нарушить систему контроля и управления и систему безопасности.

Эти анализы следует выполнять в соответствии с МЭК 60364 (все части) и МЭК 60479 (все части).

А.4.8 Возможности электрического оборудования

Электрическое оборудование следует спроектировать так, чтобы номинальное напряжение было выше номинального напряжения системы, а уровень изоляции — выше любого переходного напряжения, воздействию которого может подвергнуться оборудование.

Электрооборудование следует спроектировать так, чтобы по нему безопасно протекал ток основных цепей и ответвлений в ходе нормальной работы и в условиях трехфазного замыкания и однофазного замыкания.

А.4.9 Электромагнитная интерференция

Оборудование следует аттестовать с точки зрения EMC. Следует определить подробные требования по EMC для всех электроэнергетических систем и компонентов. Международные стандарты по EMC в промышленных условиях, МЭК 61000 (все части) должны выступать в качестве основы этих требований. Они должны быть подкреплены, если необходимо, материалами, раскрывающими аспекты влияния генерирующих компонентов станции на EMC, которые могут быть более жесткими. Определение требований к EMC включает анализ воздействия на компоненты возможных повторяющихся быстрых переходных процессов (например, отключение индуктивных нагрузок и дребезг реле) и высокоэнергетических переходных процессов (например, различные коммутационные переходные процессы и молнии) в промышленных условиях.

А.4.10 Геомагнитные индуцированные токи

Геомагнитный индуцированный ток от солнечной активности и вспышек на солнце может привести к серьезному повреждению электросети, телекоммуникаций и других устройств из-за повышения электрического потенциала поверхности земли (ESP) в различных частях земного шара. Последствием является насыщение сердечников трансформатора, приводящее к нагреву или перегреву оборудования, возникновению гармонических волн и последующим потокам нагрузок реактивной мощности, вызывающих проблемы в электрической защите.

Примечание 1 — Эти ESP (4—7 В на км) вызывают компенсационные токи от 20 до 200 А, протекающие через трансформаторы и электросеть.

Помимо силы вспышек на Солнце, эти явления в основном зависят от:

- географической широты.

Примечание 2 — Чувствительность в целом выше у магнитных полюсов Земли;

- сопротивления почвы,
- коэффициента нагрузки и перегрузки сети,
- длины линий передач,
- насыщения и типам трансформаторов,
- присоединения нейтрали к заземлению.

Защитные меры против влияния GIC следует определить TSO.

А.4.11 Феррорезонанс

Феррорезонанс представляет собой явление, которое, как правило, характеризуется перенапряжениями и сложной конфигурацией волны и связано с возбуждением одного или нескольких насыщаемых индукторов, включенных последовательно и/или параллельно с конденсаторами. Основными элементами являются насыщаемые индукторы, соединенные с конденсаторами.

Феррорезонанс возникает на указанной частоте, когда индуктивность одного из насыщенных сердечников совпадает с емкостью сети. Из-за нелинейности контура феррорезонанса может быть несколько состояний установившегося феррорезонанса, которые произвольно индуцируются в систему. В основном имеются разные типы установившихся состояний контура феррорезонанса, такие как основной, субгармонический и гармонический режимы. Чем ниже демпфирование колебаний, тем сложнее переходные отклики, вплоть до квазипериодического и незатухающего хаотического режима.

Проектные меры должны адекватно снизить риск феррорезонанса. В целом существует два основных пути предотвращения возникновения феррорезонанса:

- избегать любых коммутирующих операций, которые переконфигурируют контур и приводят к переходному процессу в одном или нескольких насыщаемых индукторах, соединенных с емкостями, при отсутствии или небольшой нагрузке;
- обеспечить демпфирование феррорезонанса путем внедрения потерь (т.е. нагружающее сопротивление) в подверженный воздействию нелинейный колебательный контур. Это уменьшит энергию источника, и, таким образом, нелинейное состояние не будет поддерживаться.

Чувствительными факторами для феррорезонанса являются:

- изолированное или с высоким импедансом подсоединение нейтрали к заземлению,
- емкости и индуктивности резонансных частот,
- типы нагрузок, однофазные или трехфазные, подсоединенные к сети,
- конфигурации работы сети и соответствующие варианты нагружения,
- насыщение сердечника трансформатора,
- местоположение измерительных трансформаторов напряжения и тока,
- фильтры или демпфирующие сопротивления, и
- наличие ограничителя перенапряжения.

Двумя основными путями предотвращения появления феррорезонанса являются:

- проанализировать и выявить коммутирующие операции, которые создают риск без возможности его смягчения, и
- разработать проектные решения по демпфированию нелинейных откликов, чтобы минимизировать время существования перенапряжения в соответствии с принципом координации изоляции.

A.5 Концептуальные критерии проектирования для атомных станций

A.5.1 Общие положения

Концептуальные критерии проектирования для атомных станций описывают специальные аспекты, которые следует учесть в проекте.

Конструкции, системы и компоненты (SSC), которые важны для обеспечения безопасности, подразделяют SSC безопасности и SSC, связанные с безопасностью. SSC безопасности — те, которые должны обеспечить контроль реактивности, отвод тепла от активной зоны реактора и защитной оболочки, защиту от воздействия радиации, а также контроль плановых радиоактивных выбросов, ограничение аварийных выбросов радиоактивных материалов или ограничение последствий нарушений нормальной эксплуатации (AOO) или проектных аварий (DBA) на NPP. Элементы, связанные с безопасностью, — те, которые не являются частью систем безопасности.

A.5.2 Надежность и готовность, критерий единичного отказа

Электроэнергетические системы, важные для безопасности, должны иметь резервирование в необходимой степени, чтобы удовлетворить требования к надежности.

Чтобы добиться надежности электроэнергетических систем, важных для безопасности, важно проектными решениями защитить их от отказа по общей причине. Важным аспектом этого является соответствие критерию единичного отказа. Конструкция этих систем должна включать избыточные или разнотипные компоненты и системы обеспечения автономности, которая требуется для достижения этих целей. Следует рассмотреть возможность увеличения вероятности нежелательного срабатывания от избыточных и разнотипных систем. Ложная или нежелательная работа одиночного защитного устройства для электроэнергетических систем, важных для безопасности, должна быть предотвращена за счет использования резервирующих схем обнаружения.

Совпадение резервирующих сигналов (логика голосования) или схема отказа в отношении ложных сигналов, которая основана на сравнениях резервирующих сигналов, обычно используется для получения соответствующего баланса надежности и независимости от нежелательной работы.

Критерий единичного отказа применяется в отношении функций безопасности. Электроэнергетические системы являются системами, обеспечивающими безопасность, и, как следствие, избыточность определяется функциями безопасности. Чтобы спроектировать надежную систему электроснабжения допускается применять избыточность и на уровне источников электропитания.

Координация и выбор значений уставок защит способствуют обеспечению готовности электроэнергетических систем.

A.5.3 Отказы по общей причине (CCF) и взаимосвязанные отказы (CMF)

Вероятность отказов по общей причине, которые могут сделать электроэнергетические системы недоступными для выполнения их функций безопасности при требовании, следует учитывать при проектировании, техобслуживании, испытаниях и эксплуатации энергетических систем обеспечения безопасности, а также их вспомогательных систем. Поскольку NPP обычно подсоединена только к одной передающей системе, то одно событие в электросети может оказать влияние на резервирующие части энергосистем обеспечения безопасности и сделать их недоступными для выполнения функций безопасности при требовании.

Принципы разнообразия и независимости (физическое разделение и функциональное разделение) следует использовать для защиты от вероятных отказов по общей причине, возникающих в оборудовании самой системы

безопасности, в ходе коммутационных перенапряжений или колебаниях напряжения и/или частоты в подсоединенных системах, или в результате участия человека (например, при эксплуатации и техобслуживании).

Чтобы учитывать риски отказов по общей причине в отношении устройств на основе программного обеспечения для электрических систем, конструкции этих изделий должны отвечать принципам проектирования оборудования контроля и управления, которые приведены в стандартах, таких как МЭК 61513, МЭК 62671, МЭК 60880 и МЭК 62138.

Чтобы исследовать уязвимость от отказов по общей причине могут использоваться тесты, приведенные в МЭК 62340.

А.6 Анализ проектных основ

А.6.1 Общие положения

Анализ проектных основ определяет базовую схему электроэнергетических систем, уровни напряжения и диапазон напряжения. Также следует определить диапазон частоты.

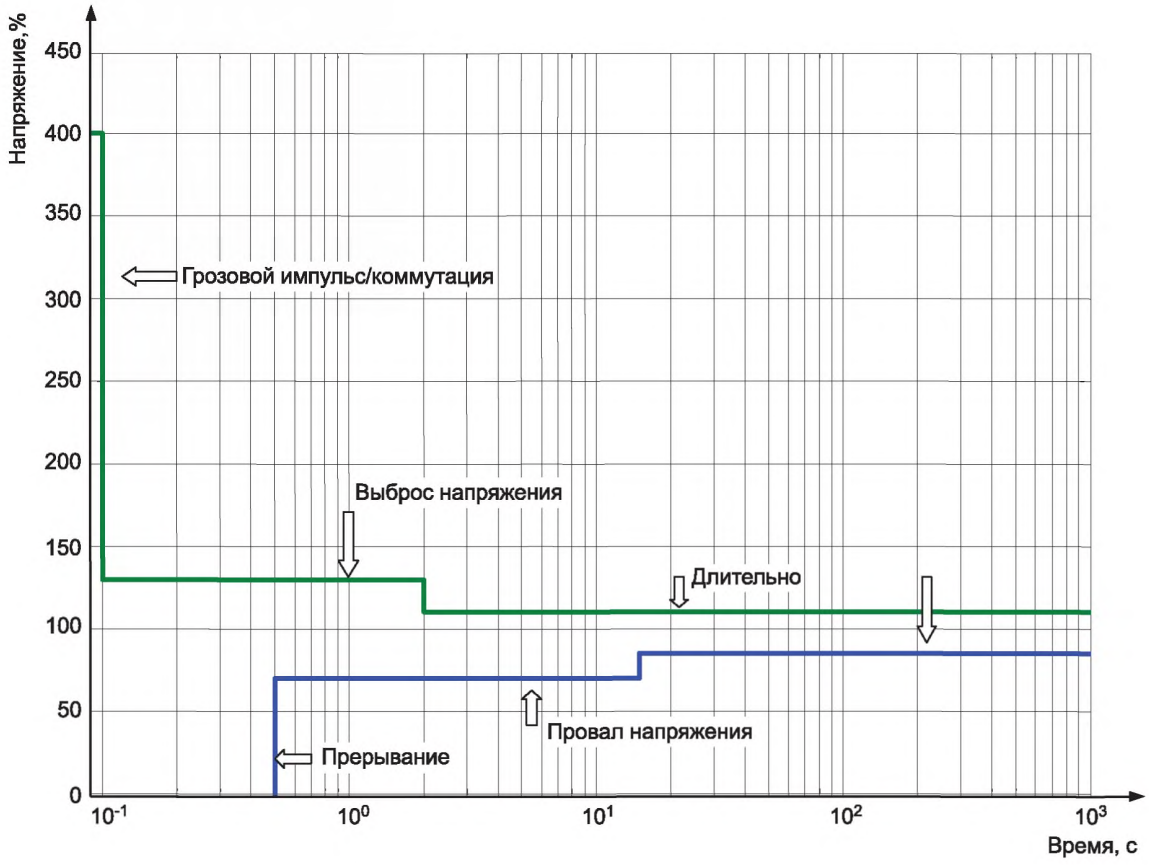
Концептуальные критерии проектирования являются частью специального проектирования. Характеристики площадки и станции могут потребовать дальнейшего анализа, прежде чем они станут частью проектных основ.

А.6.2 Напряжение

А.6.2.1 Длительное напряжение (рабочая зона)

А.6.2.1.1 Общие положения

Стандартные проектные основы в части напряжения показаны на рисунке А.4.



Примечание — Этот рисунок дан только в качестве примера. Уровни напряжения и продолжительность зависят от конкретной станции.

Рисунок А.4 — Стандартные проектные основы в части напряжения

А.6.2.1.2 Системы переменного тока

Номинальное напряжение для электроэнергетических систем следует подбирать на основе МЭК 60038. В отношении напряжения на клеммах подсоединенных нагрузок нужно учитывать падение напряжения в установке.

Примечание — См. МЭК 60364-5-52.

В ходе предварительных исследований потокораспределения в соответствии с положениями настоящего стандарта диапазон питающего напряжения определяется для всех различных источников энергопитания с учетом всех условий на станции. Также определяются падения напряжения в электроэнергетических системах.

Уровень напряжения для резервных источников переменного тока определяется в результате предварительных исследований в переходных условиях последовательности нагружения.

А.6.2.1.3 Системы постоянного тока

Номинальное напряжение систем DC выбирается в МЭК 60038. Напряжение определяется по нагрузкам, на которые будет подаваться электропитание, а также по приемлемому уровню тока разряда, чтобы достигнуть требуемого времени разряда.

Максимальное номинальное питающее напряжение определяется с помощью максимального напряжения заряда с подключенными нагрузками. Минимальное номинальное питающее напряжение представляет собой напряжение аккумуляторных батарей после расчетного разряда. Следует учитывать падение напряжения до потребителя.

Диапазон номинального напряжения влияет на то, что размеры подсоединенных нагрузок будут подбираться под более высокое напряжение, а будут работать при более низком напряжении.

Для систем AC с резервирующими аккумуляторными батареями (инверторами) диапазон номинального напряжения DC, как правило, определяется по спецификации инвертора.

А.6.2.2 Провал напряжения

В ходе предварительного исследования потокораспределения и переходных процессов следует определить провал напряжения для всех (различных) источников электропитания и режимах работы станции, учитывая падение напряжения на электроустановке.

А.6.2.3 Перенапряжение

В ходе предварительного исследования потокораспределения и переходных процессов следует определить перенапряжение для всех (различных) источников электропитания и режимах работы станции, учитывая перенапряжение на электроустановке.

А.6.2.4 Прерывание напряжения

В ходе предварительного исследования потокораспределения и переходных процессов определяются прерывания напряжения. Эти прерывания могут возникать во внутренних электроэнергетических системах (AC и DC), или в электросети.

А.6.2.5 Переходное напряжение

В результате предварительных исследований молниезащиты, а также исследований коммутационных перенапряжений (внутренних и внешних) определяются необходимый уровень изоляции и способность электрооборудования выдерживать перенапряжение.

А.6.3 Выбор параметров резервных источников переменного тока для обеспечения безопасности

Резервные источники питания переменного тока, как правило, имеют ограниченную способность ступенчатого нагружения. В ходе предварительного проектирования оценивают количество нагрузок, которые могут быть добавлены в ходе каждого последовательного шага. Суммарную нагрузку и суммарное время для каждого шага выбирают для того, чтобы напряжение и частота достигли номинальных значений, с приемлемыми граничными значениями времени, перед началом следующей ступени нагружения.

Следует обратить внимание, что внутренняя электроэнергетическая система проектируется так, чтобы частота не уменьшалась в ходе последовательности нагружения и не падала ниже 95 % от номинала, при этом напряжение не уменьшается менее чем до уровня 75 % от номинального. Частота должна быть восстановлена в пределах 2 % от номинального значения в не менее чем 60 % интервала каждой ступени нагрузок для шагового увеличения нагрузки и менее чем 80 % интервала каждой ступени нагрузки при отсоединении единичной самой крупной нагрузки. Напряжение должно быть восстановлено в пределах 10 % от номинального в пределах 6 % каждого интервала последовательных ступеней. Принятые значения частоты и напряжения основаны на анализе конкретной станции (где измеряются консервативные значения напряжения и частоты), чтобы не допустить отключение нагрузки (может использоваться более продолжительный (в %) интервал последовательных ступеней, если он подтверждается анализом. В интервал последовательных ступеней следует включать достаточные допуски по точности и повторяемости таймера последовательных ступеней). В ходе восстановления после переходных процессов, вызванных отключением самой крупной единичной нагрузки, скорость внутреннего источника не должна превышать уставки срабатывания при превышении частоты вращения, или 115 % от номинальной (в зависимости от того, что меньше). Кроме того, переходный процесс, возникающий после полной потери нагрузки, не должен вызывать достижение генератором уставки срабатывания по превышению частоты вращения.

При аварии желательно сохранять резервные источники переменного тока для обеспечения безопасности NPP даже за пределами номинальных параметров по напряжению и частоте, чтобы тем самым сохранить электроснабжение хотя бы на ограниченное время.

А.6.4 Частота

Диапазон частот для непрерывной работы должен основываться на нормальных вариациях частоты электросети и учитывать предполагаемые вариации от резервных источников электропитания переменного тока системы безопасности.

Чтобы обеспечить удовлетворительные проектные решения для атомной станции, электроэнергетическая система должна быть спроектирована, чтобы отвечать конкретным минимальным функциональным критериям. Ограничения включают допустимую вариацию частоты в установившемся режиме на уровне ± 2 % (стандартная), а в переходном режиме (моментальные) вариации сохраняются на уровне ± (5 % — 10 %) (стандартная).

Электросетевой кодекс TSO, как правило, определяет частотный диапазон, скорость изменения и частотный отклик, который должна выдерживать станция при подключении к электросети. Эти требования следует проанализировать на полную совместимость с предварительными условиями по NPP, и они должны быть согласованы с оператором по передаче электричества. Следует обеспечить приоритет ядерной безопасности.

Воздействие минимального/максимального частотного диапазона в установившемся режиме следует учитывать в термогидравлическом анализе по безопасности.

А.6.5 Базы данных и балансы мощности потребителей электроэнергии

А.6.5.1 Системы переменного тока

Данные по электрическим нагрузкам (потребителей) должны быть получены, чтобы вычислить балансы мощности и правильно определить параметры компонентов электроэнергетической системы (трансформаторов, распределительных устройств, кабелей, источников питания и т. п.).

База данных электрических нагрузок будет предварительной на этапе базового проектирования и с получением более точной информации на этапе рабочего проекта. Процесс будет достаточно сложным, т.к. требует взаимодействия с несколькими поставщиками оборудования.

Следует определить номинальную мощность, пусковую мощность и ток, а также мощность нагрузки в установившемся режиме. Мощность будет также зависеть от технологических параметров системы, таких как уровни в емкостях и противодавление. Данные по нагрузке должны содержать все подробности, необходимые для выбора параметров соответствующих источников тока. Необходимые данные будут варьироваться в соответствии с характеристиками нагрузки (небольшие и большие электродвигатели, шкаф контроля и управления, освещение, и т. п.)

Для каждой нагрузки или группы нагрузок важно учитывать ее тип (вращающаяся нагрузка и невращающаяся нагрузка), производительность, коэффициент мощности, расчетный коэффициент неодновременности нагрузки, наличие резервной нагрузки и предполагаемую необходимую мощность в различных режимах работы.

Для больших электродвигателей также важно получить механические данные (кривая крутящего момента, инерция, количество полюсов и т. п.), чтобы ввести эти данные в нужные динамические модели. Ротационное оборудование следует проектировать с максимально допустимыми вращающими моментами, которые достаточны, чтобы обеспечивать запуск при пониженном напряжении в заданном диапазоне, и спроектированы, чтобы позволить работу в нижней зоне рабочего диапазона.

Важно определить универсальные методы определения граничных значений в этом процессе проектирования (например, от механической мощности, необходимой для жидкости, до размера электроснабжения электродвигателя привода насоса). Иначе это может привести к неконтролируемому общему завышению параметров электроэнергетической системы, которое может повлиять на правильное функционирование системы.

Соответствие качественных параметров электроснабжения (в основном ожидаются вариации напряжения и частоты) со спецификациями потребителей следует верифицировать.

Небольшие потребители аналогичных типов (например, электрические задвижки, подсоединенные к одиночному центру управления двигателем) могут быть сгруппированы с целью определения баланса мощности.

А.6.5.2 Системы постоянного тока

Тот же общий подход (как и к системам NPP) применим и к системам DC. Обоснованный коэффициент неодновременности нагрузки может применяться, если может быть продемонстрировано, что все нагрузки DC не получают электропитание одновременно.

Приложение В
(справочное)

Рекомендации по аналитическим исследованиям

В.1 Методология аналитических исследований

В.1.1 Общие положения

Аналитические исследования следует выполнять с использованием имеющегося коммерческого программного обеспечения или программного обеспечения, разработанного на основе технических условий. Программное обеспечение имеет валидированную предметную область, а также были валидированы его точность и соответствие положениям промышленных стандартов.

Имитационные инструменты позволяют выполнять имитационное моделирование физических явлений, используя значительные вычислительные ресурсы.

Они состоят:

- из вычислительных кодов для решения физических уравнений,
- из препроцессоров для вычислений введенных данных,
- из постпроцессоров для вычисления результатов.

В.1.2 Процесс

В.1.2.1 Общие положения

Общая цель анализа электроэнергетической системы — понять комплексное поведение реальной системы. Аналитические исследования поддерживают безопасность станции путем определения и верификации критериев калибровки оборудования во всех постулируемых рабочих условиях. На рисунке В.1 приведен общий вид системного подхода к основным шагам, которые следует сделать при комплексном анализе.

Примечание — Блок-схема объяснена в тексте. Выход из блок-схемы из блока «сравнение».

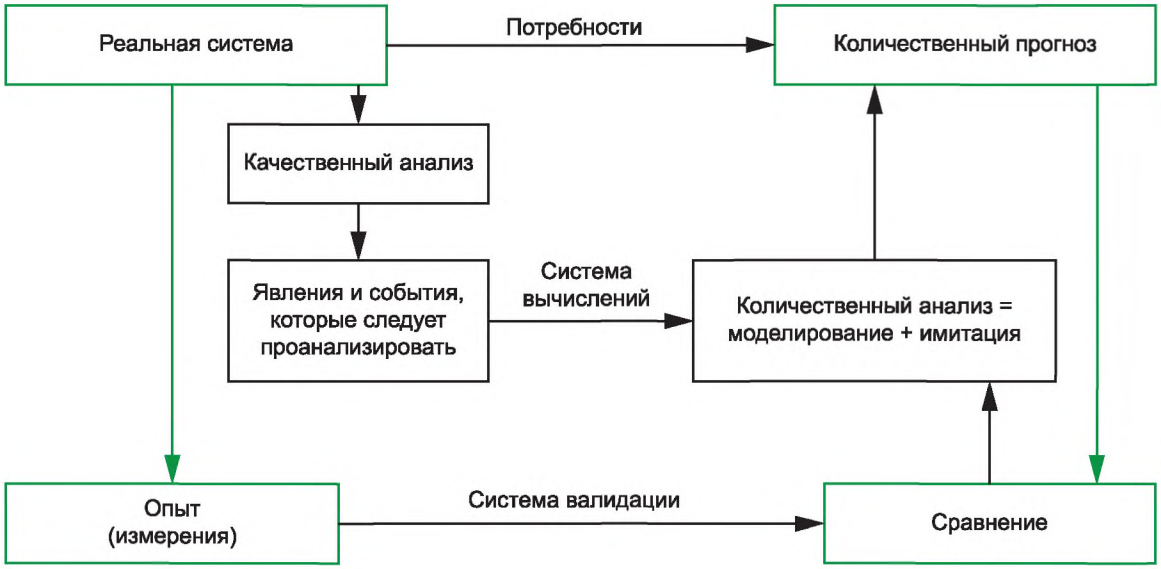


Рисунок В.1 — Краткий обзор аналитических исследований

В.1.2.2 Качественный анализ

Предварительный анализ на основе знаний и опыта дает обзор с качественной точки зрения важных параметров, которые нужно исследовать и развивать дальше.

В.1.2.3 Явления и события

Эта ступень состоит из выбора явлений, в отношении которых предприняты вычисления. Используемая модель и программа должны быть пригодны для диапазона частот исследуемого явления. См. рисунок В.2.

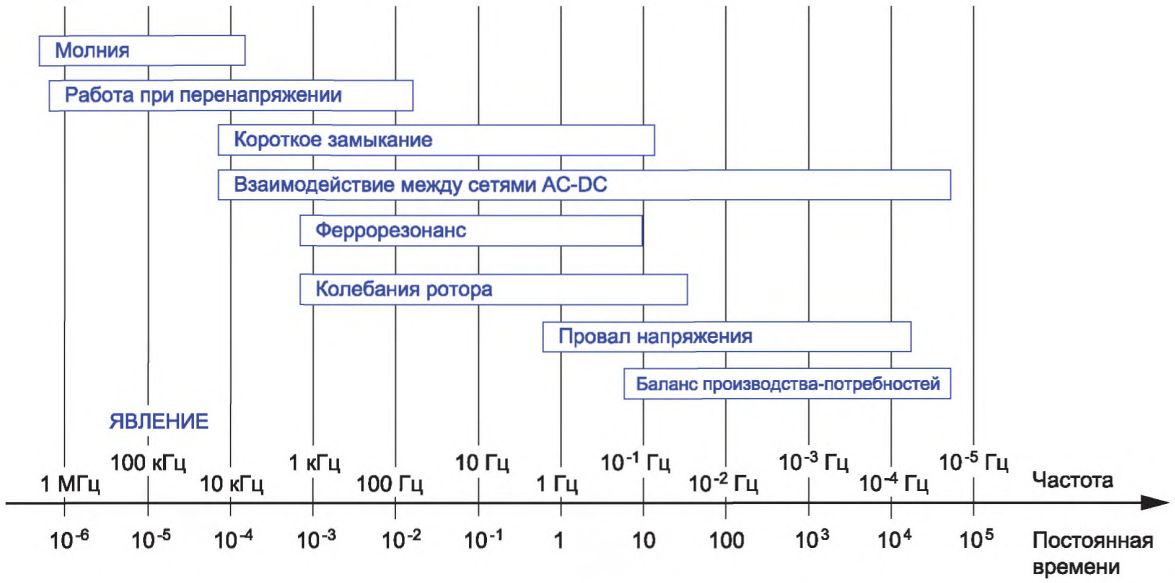


Рисунок В.2 — Явления

В.1.2.4 Количественный анализ

Аналитические исследования энергетической системы включают моделирование выработки электроэнергии и нагружения оборудования, планирование интегрирования станций в электросеть и выполнение оценки параметров системы контроля генератора и нагрузки. Моделирование электрической сети требует представления каждого элемента и всех взаимосвязей между элементами с помощью уравнений, выражая электрические, магнитные и часть механических (например, крутящий момент) элементов поведения. Уравнения должны быть адаптированы к исследуемому явлению.

Имитационное моделирование электрической сети включает одновременное решение всех уравнений в модели. Основной переменной может быть время или частота. Имитационное моделирование на компьютере предусматривает использование вычислительного программного обеспечения.

Коммерческое программное обеспечение имеет библиотеки компонентов и аналитические инструменты для моделирования и имитации электроэнергетических систем. Библиотеки предлагают модели всех электроэнергетических компонентов, включая трехфазные машины, электрические приводы и приложения, которые необходимы для анализа сложных систем AC/DC.

В.1.2.5 Количественный прогноз

Повторяемые имитации с вариациями в отношении ограничений (допустимое напряжение, ток и частота, время отключения короткого замыкания, угол устойчивости, и т. п.) помогут верифицировать диапазон параметров предлагаемой электроэнергетической системы. Обработка и форматирование результатов формируют основу для необходимых свойств электроэнергетической системы.

В.1.2.6 Опыт, измерения, валидация и сравнение

Эти шаги количественно определяют результаты и обеспечивают гарантию на основе предыдущего опыта того, что модели и цифровая обработка дают ожидаемые результаты при сравнении с результатами испытаний/тестирования и/или опыта эксплуатации аналогичных электроэнергетических систем. Если возможно, то сравнение результатов имитирования с реальными полевыми измерениями (или другими альтернативными методами вычисления) представляет собой способ валидации, которая обосновывает выбранный метод и результаты. Другим способом валидации результата цифровой имитации является решение вручную электрических уравнений для частей системы, используя те же самые входные параметры. Шаги по валидации должны быть четкими и понятными, и сохраняться в качестве записи независимой верификации процесса проектирования.

В.1.2.7 Инструменты имитационного моделирования

Вычисления представляют ряд элементов.

Аппаратные средства: сложность одновременного решения комплексных электрических вычислений предусматривает использование компьютеров с достаточно быстрыми процессорами.

Программное обеспечение: программное обеспечение для анализа и имитации энергетических систем является универсальным и используется в электротехнике. Сначала программное обеспечение использовалось для быстрого решения проблем нелинейного потокораспределения и вычисления токов коротких замыканий. Использование программного обеспечения распространилось на другие многочисленные области знаний, такие как стабильность энергетических систем, защита и координация, нештатные ситуации/надежность, а также экономическое моделирование. Все системные уравнения обрабатываются приложением. Пользовательский машинный

интерфейс может использоваться для добавления данных в модели, запуска вычислений и представления результатов в форме значений, таблиц и кривых.

Банк данных: каждый электротехнический элемент описывается моделями и характерными физическими значениями. Все эти данные хранятся в банке данных. Основные данные, необходимые для вычислений, следует оформлять документально.

B.2 Пример и уровень представления подробных данных

B.2.1 Цель

Предоставить гарантию того, что правильная работа электроэнергетической системы имеет нормальные параметры генерирования, передачи и распределения системы с адекватными граничными значениями для кратковременных переходных условий. Понятие установившихся условий определяется в стандартах на оборудование и электроснабжение в отношении:

- номинальной электрической частоты,
- амплитуды и фазы напряжения и тока, и их изменением во времени,
- уровней активной и реактивной мощности (поставляемой, выработанной, потерянной) и соответствующей энергии.

Правильная работа сетей зависит от спроектированной конфигурации энергетической системы и работы в рамках технологических и сетевых ограничений.

B.2.2 Анализ и основы

В энергетических сетях существует баланс между вырабатываемой и потребляемой мощностью. Любое нарушение этого баланса в системе, вызванное изменением нагрузки, генерацией, а также отказами и временем их устранения, часто приводит к электромеханическим колебаниям. Вопросы, требующие анализа, представляют собой расчетный обмен активной и реактивной энергии на частотах сети между источниками и нагрузками, через электрические соединительные устройства, в прогнозируемых условиях работы поддерживаемого процесса и электроэнергетической системы:

- токи;
- распределение напряжений;
- потери в системе;
- соответствующая передача активной и реактивной мощности.

Возможности электрической системы, как правило, обусловлены следующими основными факторами:

- питающим напряжением и допустимыми отклонениями;
- падением напряжения в проводниках и трансформаторах;
- мгновенным распространением по всей сети уровня напряжения источника питания и падений напряжения.

B.2.3 Минимальные требуемые данные

Для моделирования электроэнергетической системы и выполнения расчетов необходимо следующее:

a) общие данные: однолинейная схема сети и рабочие конфигурации;

b) для всех компонентов: номинальное напряжение и мощность, импедансы (прямая, обратная и нулевая последовательность), способность выдерживать короткое замыкание;

c) источники: напряжения и частоты (номинальная/мин./макс.); мощность короткого замыкания (номинальная/мин./макс.);

d) энергоблоки: напряжение, мощность и коэффициент мощности, импедансы и постоянные времени;

e) линии, кабели, шины: сопротивление, индуктивное сопротивление, емкость линий, длина, параллельные элементы, методы монтажа;

f) трансформаторы: напряжения (первичное, вторичное, третичное), номинальная мощность, тип соединения, ответвления, напряжения коротких замыканий и потери;

g) пассивные нагрузки, конденсаторы, индукторы: номинальное напряжение и мощность, коэффициент мощности и тип нагрузки, тип нагрузки (постоянный импеданс, ток или мощность), нагрузка и коэффициенты разновременности;

h) активные нагрузки: номинальное напряжение и мощность, коэффициент мощности, характеристики электродвигателя (частота вращения, инерция, скольжение, T_{start}/T_n, T_{max}/T_n, I_{start}/I_n и т. п.), характеристики устройств, включающих силовую электронику (тип устройства и т. п.), коэффициент неодновременности нагрузки.

B.2.4 Роль исследования

Цель данного исследования — обеспечить корректный проект электроэнергетической системы, с учетом будущих изменений, а также всех режимов работы посредством:

- экспертной оценки основных решений,
- вычисления суммарных мощностей в установившихся условиях, и
- учета различных рабочих конфигураций электрической сети, включая аварийные и резервные конфигурации.

Вычисление установившихся условий является средством определения распределения напряжения и помогает предложить решения по ограничению переходных процессов напряжения.

Приложение С
(справочное)

Верификация проектных основ и спецификации оборудования

См. таблицы С.1 и С.2.

Таблица С.1 — Аналитические исследования внутренних электроэнергетических систем переменного тока

Аналитические исследования	Верификация проектных основ	Верификация спецификации оборудования	Комментарии
7.2 Исследования потокораспределения	Длительное напряжение (резервирование и нагрузка). Мощность резервных источников переменного тока	Расчетный ток для шин, выключателей, изоляторов, кабелей, кабельных проходок, трансформаторов (критерии приемки из национальных стандартов). Выводы обмотки трансформатора	
7.3 Исследования в переходном режиме			
7.3.2 Условия сбоя	Длительное напряжение, провалы напряжения, перенапряжения, переходные напряжения и прерывания		
7.3.3 Исследования переключения источников электропитания	Возможность переключения источников электропитания. Пусковой ток	Время включения, время включения для выключателей	Также применимо к схемам синхронизации
7.3.4 Исследования пуска и перезапуска электродвигателя	Способность пуска и перезапуска двигателя. Рабочий диапазон напряжения, рабочий диапазон частоты, максимальный длительный момент для ротационного оборудования, входная мощность ротационного оборудования		Также должно быть верифицировано допустимое напряжение для контакторов
7.3.5 Нагрузка для собственных нужд	Диапазон напряжения, диапазон частоты		
7.3.6 Резкие отклонения напряжения	Провал и прерывание напряжения, быстрые переходы и прерывание напряжения	Все нагрузки	Пониженное и разбалансированное [потеря фаз(ы)] напряжение. Также должно быть верифицировано допустимое напряжение для контакторов
7.3.7 Выброс напряжения, вызванный коммутированием и неисправностями	Перенапряжения, быстрый переход напряжения и прерывания	Все оборудование и все нагрузки. Для резервных источников переменного тока, также уровень изоляции генератора (при потере всех нагрузок)	Для резервных источников переменного тока, также перенапряжения при потере нагрузки

Окончание таблицы С.1

Аналитические исследования	Верификация проектных основ	Верификация спецификации оборудования	Комментарии
7.3.8 Исследования ступенчатого включения нагрузок	Выбор параметров резервных источников переменного тока. Провал напряжения и перенапряжения в ходе ступенчатого включения. Быстрые переходы и прерывания напряжения	Время включения, время включения для выключателей	
7.3.9 Частотные исследования		Частота вращения ротационного оборудования	Оценка со стороны
7.4 Исследования отказов			
7.4.1 Исследования коротких замыканий		Кратковременно выдерживаемый ток, расчетный ток отключения, пиковое значение тока, выдерживаемого шинами распределительного устройства переменного тока, выключателями, изоляторами, кабелями, кабельными проходками, трансформаторами	Выключатели должны также отключать DC разбаланса
7.4.2 Исследования замыкания на землю (нарушенная изоляция)		Способность обнаружения	
7.5 Исследования координации электрической защиты	Готовность и надежность	Стойкость к перегрузкам для ротационного оборудования. Стойкость к перенапряжению	

Таблица С.2 — Анализ системы постоянного тока и системы бесперебойного питания переменного тока

Аналитические исследования	Верификация основ проектирования	Верификация спецификации оборудования	Комментарии
8.1 Исследования потокораспределения	Напряжение нагрузки в нормальных и аварийных условиях. Емкость источников питания	Напряжение подзаряда. Конечное напряжение разряда. Ток разряда	Также старение элементов АБ
8.2 Исследования в переходном режиме			

Окончание таблицы С.2

Аналитические исследования	Верификация основ проектирования	Верификация спецификации оборудования	Комментарии
8.2.1 Выпрямитель	Быстрые переходы и прерывания напряжения	Вариации на выходе DC: Непрерывное и кратковременное напряжение на основе предполагаемых вариаций напряжения и частоты источников питания. Напряжение на выходе DC: рабочий диапазон и переходные напряжения. Ограничения по DC: выпрямитель должен быть способен питать нагрузки и одновременно полностью заряжать батарею в заданный срок	Также работа без подсоединенной аккумуляторной батареи
8.2.2 Инверторы/UPS и шунтирующий выключатель	Быстрые переходы и прерывания напряжения. Возможность переключения на другие источники питания	Прерывания напряжения с возвратом напряжения, переходное высокое напряжение. Максимальное напряжение через шунтирующий выключатель из-за перенапряжения на стороне подачи переменного тока. Выход инвертора: рабочий диапазон частот, переходные частоты. Рабочий диапазон напряжения и переходное напряжение (при подсоединении/отсоединении нагрузки)	
8.3 Исследования отказа			
8.3.1 Исследования коротких замыканий		Для выпрямителей: предельное время срабатывания предохранителя DC. Для инверторов: предельное время срабатывания предохранителя AC. Кратковременно выдерживаемый ток	
8.3.2 Исследования замыкания на землю (нарушенная изоляция)		Способность обнаружения	
8.4 Исследования по координации электрической защиты	Готовность и надежность	Стойкость при перенапряжении	

Приложение D
(справочное)

Пример критериев приемки станции

Таблица D.1 — Пример критериев приемки станции

Критерии приемки	Динамическая устойчивость	Потокораспределение	Исследования в переходном режиме						
			Режимы отказа	Резервирование	Пуск и перезапуск электродвигателя	Нагрузка для собственных нужд	Резкие отклонения напряжения	Выброс напряжения	Ступенчатое подключение нагрузок
Отказ должен быть обнаружен и устранен системой защиты в соответствии с координацией схемы электрической защиты	X		X				X		
В ходе нарушений в системе частота, ток и напряжение электроэнергетической системы должны соответствовать требованиям к оборудованию и его возможностям (включая координацию изоляции)	X		X	X	X	X	X	X	X
Время пуска или перезапуска и профили напряжения на клеммах вспомогательного оборудования АС (особенно асинхронных электродвигателей): - должно соответствовать (только временной аспект): требованиям ядерной безопасности (как главный циркуляционный насос к реактору), и любым потребностям эксплуатации;	X		X	X	X	X	X		X
- не должно приводить: к опрокидыванию других двигателей (только аспект напряжения на клеммах), к запуску системы защиты (особенно элементов измерения сверхтока), и	X		X	X	X	X	X		X
- переключению на другой источник переменного тока для питания вспомогательных систем АС									
После возврата к установившимся условиям различное электрооборудование должно работать с допустимым напряжением и частотой	X	X	X	X	X	X	X	X	X
При резервировании с замедлением остаточное напряжение высоковольтных щитов управления должно быть ниже значения, которое определено в проекте (как правило, 0,3 Un) перед подсоединением к резервному трансформатору				X	X				
Альтернативные источники переменного тока могут запускаться заблаговременно, но они не должны подключаться автоматически				X					
Результаты потокораспределения должны согласовываться с пропускной способностью различного электрооборудования (включая граничные значения)		X							

Библиография

IEC 60034 (all parts), Rotating electrical machines

IEC 60038, IEC standard voltages

IEC 60364 (all parts), Low-voltage electrical installations

IEC 60364-5-52, Low-voltage electrical installations — Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment — Wiring systems

IEC 60479 (all parts), Effects of current on human beings and livestock

IEC 60880, Nuclear power plants — Instrumentation and control systems important to safety — Software aspects for computer-based systems performing category A functions

IEC 60909 (all parts), Short-circuit currents in three-phase a.c. systems

IEC 60964, Nuclear power plants — Control rooms — Design

IEC 61000 (all parts), Electromagnetic compatibility (EMC)

IEC 61225, Nuclear power plants — Instrumentation and control systems important to safety — Requirements for electrical supplies

IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

IEC 61508-1, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems — Part 1: General requirements

IEC 61508-2, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems — Part 2: Requirements for electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

IEC 61508-3, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems — Part 3: Software requirements

IEC 61508-4, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems — Part 4: Definitions and abbreviations

IEC 61513, Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — General requirements for systems

IEC 61660 (all parts), Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations in power plants and substations

IEC 62003, Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Requirements for electromagnetic compatibility testing

IEC 62138, Nuclear power plants — Instrumentation and control important for safety — Software aspects for computer-based systems performing category B or C functions

IEC 62271-200, High-voltage switchgear and controlgear — Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV

IEC 62305 (all parts), Protection against lightning

IEC 62305-1, Protection against lightning — Part 1: General principles

IEC 62305-3, Protection against lightning — Part 3: Physical damage to structures and life hazard

IEC 62305-4, Protection against lightning — Part 4: Electrical and electronic systems within structures

IEC 62340, Nuclear power plants — Instrumentation and control systems important to safety — Requirements for coping with common cause failure (CCF)

IEC 62342, Nuclear power plants — Instrumentation and control systems important to safety — Management of ageing

IEC 62443 (all parts), Industrial communication networks — Network and system security

IEC 62566, Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Development of HDL-programmed integrated circuits for systems performing category A functions

IEC 62645, Nuclear power plants — Instrumentation and control systems — Requirements for security programmes for computer-based systems

IEC 62671, Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Selection and use of industrial digital devices of limited functionality

IEC 63046[2)], Nuclear power plants — Electrical systems — General requirements

ISO/IEC 27001, Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements

ISO/IEC 27002, Information technology — Security techniques — Code of practice for information security controls

[2)] На этапе подготовки. Этап на момент публикации: IEC ANW 63046:2016.

IAEA GS-G-3.1, Application of the management System for facilities and activities
IAEA GS-G-3.5, Management system for nuclear installations
IAEA GS-R-3, The management system for facilities and activities
IAEA SSG-30, Safety classification of structures, systems and components in Nuclear Power Plants
IAEA Safety Guide SSG-34, Design of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants
IAEA Safety Guide SSG-39, Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants
IAEA SSR-2/1:2012, Safety of nuclear power plants: design
IAEA Nuclear Energy Series NG-T-3.8, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants
IAEA NSS 17, Reference Manual, Computer security at nuclear facilities
IAEA Safety Glossary:2016, Terminology used in nuclear safety and radiation protection
IAEA Safety Report, Impact of Open Phase Conditions on Nuclear Power Plants Electrical Power Supply Systems[3)]
IAEA — TECDOC — 1770, Design Provisions for Withstanding Station Blackout at Nuclear Power Plants

[3)] На этапе подготовки.

УДК 621.311.49:006.354 ОКС 27.120.20

Ключевые слова: атомные станции, электроэнергетические системы, анализ электроэнергетических систем

БЗ 5—2019/103

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 17.05.2019. Подписано в печать 03.06.2019. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,03.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru