

Д.А. ПЕХОТА, аспирант гр. 2.4.3-22 (НГТУ)
Научный руководитель В.Е. ГЛАЗЫРИН, к.т.н., доцент (НГТУ),
г. Новосибирск

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ В СОСТАВЕ АЭК

Развитие концепции активного энергетического комплекса (АЭК) в России вызывает необходимость создания комплексных автоматизированных систем управления, способных обеспечивать устойчивость и надёжность электроснабжения потребителей АЭК при различных режимах работы. Существенными особенностями требований к АЭК являются ограничение перетока мощности через связи с Единой Энергетической Системой (ЕЭС) и запрет выдачи мощности в её сторону в нормальном режиме работы. Эти условия создают повышенные требования к локальному балансированию генерации и потребления внутри АЭК [1].

В состав управляемого интеллектуального соединения (УИС), обеспечивающего координацию работы всех элементов АЭК, должна входить система автоматического отключения нагрузки (САОН) [2]. Система предназначена для быстрого и селективного ограничения перетоков мощности в аварийных и послеаварийных ситуациях, а также для обеспечения заданного резерва мощности. Выполнение этих функций необходимо как при параллельной работе с ЕЭС России, так и в автономном режиме, а также во время переходов между этими состояниями. Эффективность САОН определяется скоростью обработки информации, полнотой учёта текущих параметров режима энергосистемы и корректностью алгоритмов определения объёмов и состава отключаемой нагрузки. Для этого требуется доступ к данным о состоянии генерирующих установок, управляемых присоединений (УП), объектов АЭК, линии связи с внешней сетью и накопителей энергии (при их наличии). Использование данных в реальном времени обеспечивает возможность выполнения действий по сохранению регламентированных параметров режима при неблагоприятных возмущениях.

Одной из базовых функций САОН является контроль потребления активной мощности отдельными объектами АЭК в пределах диапазона их разрешённых мощностей. Под разрешённой мощностью понимается установленное нормативами и договорными соглашениями ограничение на объём потребления для каждого конкретного объекта. Превышение оговоренных значений приводит к нарушению условий присоединения и к возможному риску перегрузки сетевого оборудования распределительной сети АЭК. Автоматизированный контроль позволяет выявлять и устранять

превышения в реальном времени. САОН контролирует текущее потребление каждого объекта, сопоставляет его с установленным лимитом и при необходимости формирует команду на отключение нагрузки (ОН) из доступного перечня УП. Такая функция важна для предотвращения аварийных ситуаций и для выполнения условий долгосрочной договорной работы предприятий в составе АЭК.

Контроль потребления в автоматическом режиме служит основой для работы всех функций САОН. При параллельной работе АЭК с ЕЭС это обеспечивает выполнение требований по недопущению превышения перетока мощности между ЕЭС России и АЭК по линии связи, а в автономном режиме – поддержание баланса мощности и частоты внутри АЭК. Алгоритмы контролируют текущее состояние объекта, фактическую потребляемую мощность и могут выполнять учет экономических издержек, возникающих при отключении конкретных нагрузок.

При параллельной работе АЭК с ЕЭС ключевой задачей САОН является контроль перетока мощности по линии связи. Для линии связи устанавливается разрешённая мощность перетока в сторону АЭК, превышение которой через выдержку времени приводит к срабатыванию алгоритмов УИС и разрыву связи. Это вызывает мгновенный переход АЭК в автономный режим, сопровождающийся резким нарушением баланса мощности и необходимостью дополнительных действий автоматики. САОН должна предотвращать нежелательные переходы, выполняя непрерывный мониторинг величины перетока и сравнение его с допустимыми значениями. При выявлении превышения формируется и реализуется ОН. Упреждающая разгрузка позволяет избежать аварийного разрыва связи, а использование алгоритма решения комбинаторной задачи по выбору объема и состава отключаемой нагрузки позволяет минимизировать последствия для потребителей и генерирующих организаций. Особое значение эта функция приобретает в периоды максимального потребления, когда резерв мощности внутри АЭК может оказаться недостаточным. В таких условиях даже незначительное превышение допустимого перетока способно привести к потере связи с энергосистемой. Своевременное вмешательство САОН позволяет сохранить параллельную работу и предотвратить формирование более масштабных противоаварийных воздействий.

Потеря связи между АЭК и ЕЭС России обуславливает переход из режима параллельной работы в автономный режим, при котором баланс мощности внутри комплекса может быть нарушен. САОН в этих условиях выполняет критическую функцию – быстрое отключение излишней нагрузки для восстановления баланса при дефиците мощности внутри АЭК. Алгоритмы обеспечивают определение состава и объёма необходимой разгрузки заранее по набору получаемых данных о текущих параметрах режима на основании типовых сценариев возмущений, а затем в тече-

ние выдержки времени используют это решение для реализации ОН (рисунок 1).

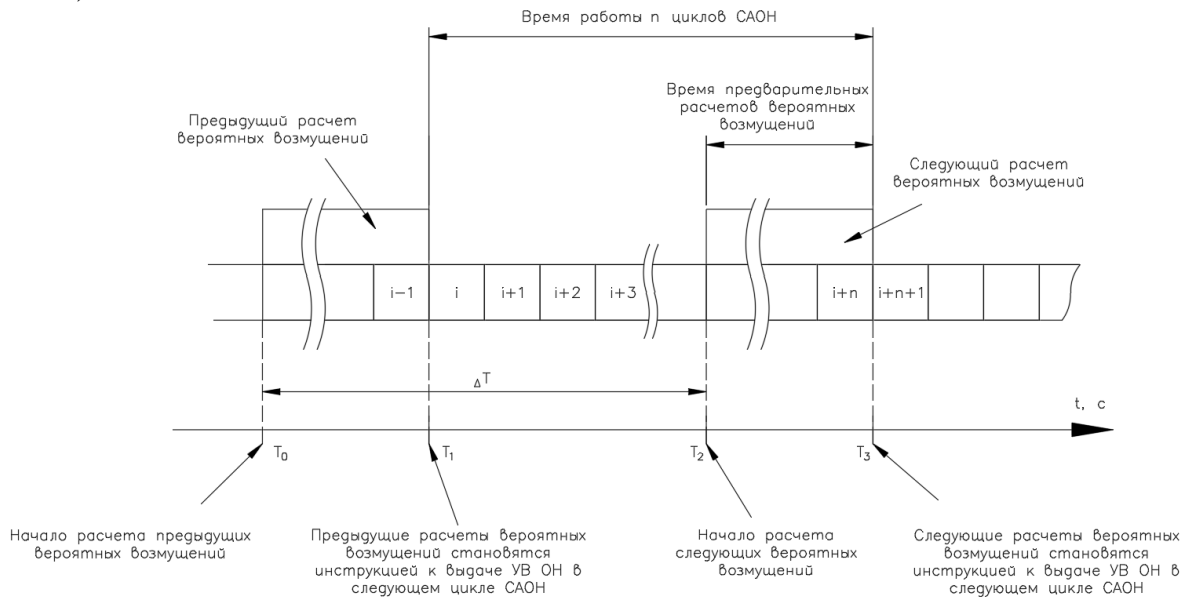


Рис. 1. Временная диаграмма применения заранее подготовленных решений САОН к типовым возмущениям в АЭК

Расчёт объёма подлежащей отключению нагрузки производится на основе данных о текущей генерации и потреблении, состоянии УП, запасе мощности накопителей энергии и допустимых изменениях мощности генераторов. Это позволяет учитывать доступные значения увеличения генерируемой мощности без ущерба для оборудования и определять ту часть нагрузки, которую необходимо отключить для обеспечения баланса активной мощности. В аварийных ситуациях времени на многоступенчатую разгрузку нет, поэтому формируется перечень подлежащих отключению нагрузок с оптимальным объёмом заранее. Реализация этой функции особенно важна для АЭК с высокой долей генерации от источников, чувствительных к частоте, для которых снижение частоты ниже порога может привести к аварийной остановке под действием технологических защит. Быстрая и адекватная реакция САОН исключает каскадное отключение генерирующих установок и полное обесточивание потребителей.

В автономном режиме баланс мощности поддерживается за счёт внутренних генерирующих установок и имеющихся накопителей энергии (НЭ). Любые изменения потребления или генерации немедленно отражаются на частоте в сети АЭК. В этих условиях САОН осуществляет постоянный контроль баланса активной мощности и частоты, а также может инициировать ОН при появлении признаков дефицита. Причинами могут быть резкое увеличение потребления, аварийная остановка генераторов (группы генераторов) или снижение выработки источников возобновляе-

мой энергии (при их наличии). Действие САОН стабилизирует режим до достижения уставок частотных защит.

Отдельной задачей в автономном режиме является контроль величины аварийного резерва активной мощности. Для надёжной работы необходимо поддерживать запас, достаточный для нивелирования потери самой мощной генерирующей установки в составе АЭК. При расчёте должны учитываться текущее состояние генерирующих установок, их диапазоны регулирования, возможности маневрирования, возможности быстрого наброса/сброса нагрузки и ресурсы накопителей энергии. При снижении фактического резерва ниже допустимого уровня САОН должен инициировать ОН для восстановления требуемого запаса. Действия по отключению должны соответствовать заранее выбранному критерию: минимизация мощности отключаемой нагрузки или минимизация экономического ущерба потребителям, действующим в составе АЭК.

Эффективность работы подсистемы САОН непосредственно зависит от полноты и актуальности информации, поступающей на её входы. Получаемые данные должны отражать текущее состояние элементов энергосистемы и поступать в реальном времени. Ключевой является информация по генерирующим установкам: положение выключателей (сигналы РПВ/РПО), текущее значение мощности, располагаемый диапазон регулирования, гарантированная скорость изменения мощности, диапазон регулирования генерируемой мощности, величина максимально допустимого сброса и наброса активной мощности. По каждому УП необходимы положение выключателей (сигналы РПВ/РПО), текущее потребление, сведения о возможности дистанционного взаимодействия и сигнал исправности цепей управления. По объектам АЭК требуются значения разрешённых мощностей и перечни УП, входящих в их состав. По линии связи с ЕЭС России учитываются состояние линии связи, разрешённая мощность перетока по связи и фактический переток. При наличии НЭ используются следующие данные от системы управления НЭ: положение выключателя, допустимые и текущие значения выдачи/приёма мощности, а также сведения о текущих, минимальных и максимальных запасах энергии.

САОН в составе УИС АЭК решает задачи обеспечения устойчивости и надёжности энергоснабжения в различных режимах. Вне зависимости от режима осуществляется контроль потребления активной мощности объектами в пределах разрешённых значений. В параллельном режиме выполняется контроль перетока по линии связи и недопущение его превышения сверх согласованных величин. При переходе из параллельного в автономный режим выполняется отключение части нагрузок для обеспечения баланса мощностей внутри АЭК. В автономном режиме организуются контроль баланса и селективное отключение УП, а также контроль аварийного резерва мощности в АЭК.

Рассматриваемая система является одним из ключевых элементов УИС АЭК, обеспечивающим корректное автоматическое управление нагрузкой в интересах сохранения работы устойчивой АЭК при возмущениях и изменениях режима работы.

Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 21 марта 2020 г. № 320 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования активных энергетических комплексов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.10.2025).

2. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 июня 2020 г. № 507 «Об утверждении требований к управляемому интеллектуальному соединению активных энергетических комплексов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.10.2025).

Информация об авторах:

Пехота Дмитрий Андреевич, аспирант гр. 2.4.3-22, НГТУ, 630073, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, д. 20, pexota.98@mail.ru

Глазырин Владимир Евлампиевич, к.т.н., доцент, НГТУ, 630073, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, д. 20, glazirin.ve@power.nstu.ru