

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАПАСОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ ОЭС СИБИРИ

АВТОРЫ:

В.Г. НЕУЙМИН,
АО «НТЦ ЕЭС»

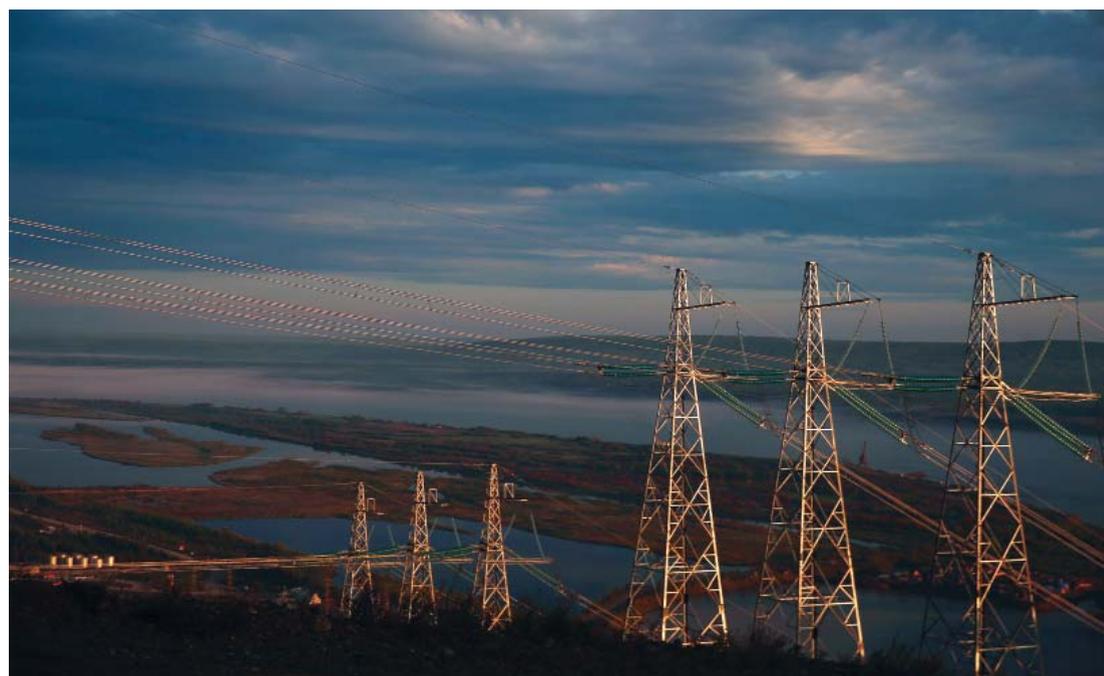
А.Ю. ОСТАНИН,
ФИЛИАЛ АО «СО ЕЭС»
ОДУ СИБИРИ

А.А. ТОМАЛЕВ,
ФИЛИАЛ АО «СО ЕЭС»
ОДУ СИБИРИ

Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири управляет режимами десяти энергосистем ОЭС Сибири, восемь из которых расположены на территории Сибирского федерального округа, две — на территории Дальневосточного

федерального округа. Операционная зона ОДУ Сибири площадью 4944 тыс. кв. км охватывает 12 субъектов Российской Федерации. В городах и населенных пунктах, расположенных на этой территории, проживает более 19 млн человек.

Ключевые слова: контролируемое сечение; максимально допустимые перетоки активной мощности; телеметрическая информация; система мониторинга запасов устойчивости.



Богучанская
гидроэлектростанция

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач АО «СО ЕЭС» является управление технологическими режимами работы объектов ЕЭС России в реальном времени. В рамках указанной задачи проводится в том числе расчет электроэнергетических режимов, анализ устойчивости энергосистемы, расчет допустимых перетоков активной мощности по отдельным сетевым элементам и их группам (контролируемым сечениям).

Максимально допустимые перетоки активной мощности в контролируемых сечениях (МДП) имеют существенную зависимость от:

- топологии электрической сети;
- состава включенных генераторов на электростанциях и их нагрузки;
- потребления энергосистем или отдельных энергорайонов;
- количества включенных в работу устройств средств компенсации реактивной мощности (ШР, УШР, БСК, СТК) и режима их работы;
- доступного диапазона на загрузку по реактивной мощности электрических станций.

МДП, определение величин которых производятся заблаговременно, рассчитываются работниками

служб электрических режимов АО «СО ЕЭС» и вносятся в Положение по управлению режимами работы энергосистем (ПУР). В общем случае, в связи с невозможностью учета всего многообразия схемно-режимных и режимно-балансовых ситуаций, МДП определяются для наиболее неблагоприятных условий [1]. Такой подход позволяет гарантировать обеспечение нормируемых запасов устойчивости для всех возможных ситуаций, но приводит к тому, что значительную часть времени пропускная способность электрической сети используется не в полном объеме. Для наиболее полного ее использования необходимо определить значения МДП в режиме реального времени с учетом всех влияющих факторов.

Учитывая современный уровень наблюдаемости электроэнергетического режима работы объединенной энергосистемы Сибири (ОЭС Сибири), снижение стоимости IT-решений, возникли экономические и технические предпосылки создания и внедрения в эксплуатацию в филиале АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири (ОДУ Сибири) системы мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ), осуществляющей расчет величин МДП в режиме реального времени с использованием телеметрической ин-

формации об электроэнергетическом режиме.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАПАСОВ УСТОЙЧИВОСТИ

Внедренный в ОДУ Сибири программно-аппаратный комплекс «Система мониторинга запасов устойчивости» (ПАК СМЗУ) разработан АО «НТЦ ЕЭС».

В цикле расчета ПАК СМЗУ выполняется:

- прием телеметрической информации в базу данных СМЗУ из оперативного информационного комплекса (ОИК) ОДУ Сибири;
- оценивание состояния энергосистемы на основании полученной телеметрической информации;
- определение величин МДП в заданных контролируемых сечениях, в том числе с учетом моделирования действия противоаварийной автоматики;
- вывод диспетчеру результатов расчета СМЗУ в ОИК ОДУ Сибири.

ПАК СМЗУ состоит из двух подсистем — сервисной и технологической.

В сервисной подсистеме ПАК СМЗУ можно выделить три основных уровня взаимодействия с данными:

- первый уровень — «Сервисы циклической обработки данных» — предназначен для автоматической обработки поступающей телеметрической информации;

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПАК СМЗУ ОЭС СИБИРИ

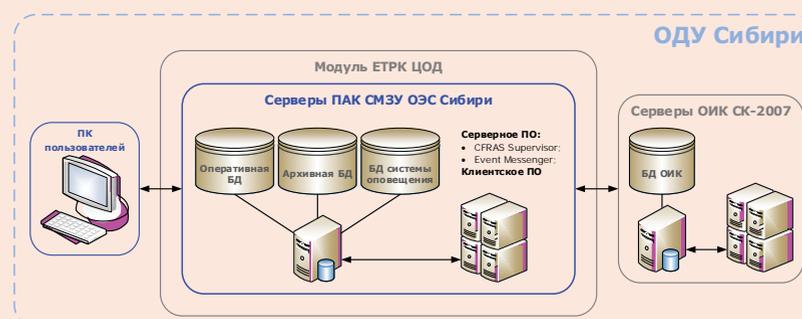


Рис. 1

ПРИМЕР ВЫВОДА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ПАК СМЗУ В ФОРМЕ ОИК «КОНТРОЛЬ ПЕРЕТОКОВ И ОГРАНИЧЕНИЙ В СЕЧЕНИЯХ»

Сечение	ПА	Тек	МДП	НК	МДП+НК	Авар	Запас	Перегр.	Обр. отсч.	Загр	Разгр	Схема	Темп	Управление
Енисей – Красноярская ГЭС	В	Р	26	983	80	1063	1650	1037		53		23408	24,4	ОДУ Сибири
Енисей – Красноярская ГЭС СМЗУ	В	Р	534	1504	80	1584	1910	1050				22286	24,4	ОДУ Сибири
Енисей – Красноярская	В	Р	1101									23624		ОДУ Сибири
Камала - Красноярская	В	Р	1 *	1550	70	1620	2100	1619				23396	24,4	ОДУ Сибири
Камала - Красноярская СМЗУ	В	Р	1714	2219	70	2289	2640	575				22287	27,3	ОДУ Сибири
Выдача мощности Богучанской ГЭС	В	Р	1884	10000	15	10000	10000	8116				6140	25,0	ОДУ Сибири

Рис. 2

- второй уровень — «База данных» — предназначен для сохранения и обмена данными между компонентами комплекса, а также для обеспечения целостности информации и контроля прав доступа;
- третий уровень — «Пользовательские программы» — содержит клиентские программы комплекса, отвечающие за его настройку, наполнение информацией и отображение результатов конечному пользователю по его запросу.

ПАК СМЗУ ОЭС Сибири состоит из [2]:

1. сервера БД, включающего в себя:
 - оперативную БД — основная база комплекса, предназначенная для хранения расчетных схем и данных последних режимов;
 - архивную БД — архивная база комплекса, предназначенная для хранения данных посчитанных режимов;
2. БД системы оповещения;
3. специализированного серверного ПО, включающего в себя:
 - службу CFRAS Supervisor — планировщик задач;
 - службу Event Messenger — система оповещения;
3. клиентского ПО, установленного на серверах, доступ к кото-

рому осуществляется с рабочих станций пользователей ПАК СМЗУ ОЭС Сибири:

- Администратор (wAdmin.exe) — инструмент для управления настройками комплекса и учетными записями пользователей;
- Конструктор (wConstructor.exe) — инструмент для создания расчетных схем;
- Консоль (wConsol.exe) — программа для мониторинга расчетов оперативного цикла и работы комплекса в целом;
- Имитатор (wImitator.exe) — программа для тестирования технологических алгоритмов и отладки расчетной схемы путем моделирования и воспроизведения различных ситуаций, возникающих в ходе выполнения расчетного цикла.

Технологическая подсистема ПАК СМЗУ разработана для определения МДП и аварийно допустимых (АДП) перетоков активной мощности в контролируемых сечениях с учетом действия противоаварийной автоматики (ПА) в онлайн-режиме. Для анализа статической аperiodической устойчивости используется расчетный модуль ПК RastrWin, для анализа динамической устойчивости — расчетный модуль ПК Rustab, в котором для моделирования генераторов, их систем возбуждения и регулирования

применяются модели, идентичные моделям ПК Mustang.

Определение МДП и АДП осуществляется на основе текущей телеметрической информации и расчетной модели электрической сети. В цикле расчета выполняется:

- оценивание состояния;
- определение предельного перетока по статической аperiodической устойчивости для заданных контролируемых сечений. Для определения предельного по условию обеспечения статической аperiodической устойчивости перетока активной мощности в заданных контролируемых сечениях выполняется утяжеление исходного оцененного режима с использованием заранее заданных векторов изменения режима (ВИР). Критерием нарушения статической аperiodической устойчивости является расходимость итерационного процесса;
- определение величины АДП с использованием полученного значения предельного по статической аperiodической устойчивости перетока активной мощности;
- определение перетоков в контролируемых сечениях, соответствующих нормативным запасам по статической аperiodической устойчивости в доаварийном

- и послеаварийных режимах для заданного списка аварийных процессов (АП). Для определения величин, ограничивающих МДП по условиям обеспечения нормируемых запасов устойчивости или допустимой токовой нагрузки оборудования и ЛЭП в послеаварийных режимах, выполняется моделирование АП (отключение генерирующего, электросетевого оборудования, систем шин или ЛЭП, снижение мощности возобновляемых источников энергии), являющихся для выбранных контролируемых сечений нормативными возмущениями в соответствии с Методическими указаниями по устойчивости энергосистем [1];
- определение величин МДП без учета действия и с учетом действия ПА. Для определения МДП с учетом действия ПА дополнительно при моделировании

АП моделируется срабатывание ПА в случае, если по факту моделируемого АП в энергосистеме срабатывает ПА.

Все перечисленные выше действия выполняются для каждого контролируемого сечения отдельно.

В качестве аппаратной платформы использован модуль единого территориально-распределенного корпоративного центра обработки данных (ЕТРК ЦОД) (рис. 1).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАК СМЗУ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ

В настоящее время результаты расчетов ПАК СМЗУ применяются

при управлении электроэнергетическим режимом в 13 контролируемых сечениях ОЭС Сибири. Для выполнения расчетов используется информация о более чем 10 000 параметрах электроэнергетических режимов. Это позволяет с учетом изменения схемно-режимной ситуации в энергосистеме обеспечивать максимальное использование пропускной способности электрической сети ОЭС Сибири. Результаты расчетов ПАК СМЗУ выводятся в форме ОИК «Контроль перетоков и ограничений в сечениях» (рис. 2).

Увеличение значений МДП при использовании ПАК СМЗУ составляет от 50 до 800 МВт. На рис. 3 приведены значения МДП ПУР, МДП СМЗУ и фактических перетоков активной мощности в контролируемом сечении Кузбасс — Запад в один из характерных летних рабочих дней. Из рисунка видно, что эффект от увеличения пропускной способности указанного сечения востребован и используется при фактическом управлении электроэнергетическим режимом.

Одной из задач, успешно решенных в связи с вводом в эксплуатацию ПАК СМЗУ, является выдача мощности Ангаро-Енисейского каскада ГЭС в период навигации в западную часть ЕЭС России в условиях отставания ввода энергоемких производств цветной металлургии в ОЭС Сибири.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАК СМЗУ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕЖИМОВ

АО «Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии» при определении цен электроэнергии на рынке на сутки вперед (РСВ)

СРАВНЕНИЕ ВЕЛИЧИН МДП, ОПРЕДЕЛЕННЫХ В ПУР И РАССЧИТАННЫХ СМЗУ ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО СЕЧЕНИЯ КУЗБАСС — ЗАПАД 18.07.2019



Рис. 3

использует актуализированную расчетную модель ЭЭС, подготовленную Системным оператором [3].

При этом согласно регламентирующим документам [4] актуализированная расчетная модель должна учитывать значения МДП. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о наличии влияния МДП, заданных на этапе составления прогнозного диспетчерского графика (ПДГ) на цену электроэнергии на РСВ.

Применение результатов расчетов СМЗУ на этапе формирования ПДГ позволяет снизить влияние ограничений по пропускной способности электрической сети на цены электроэнергии на РСВ. В настоящее время технология, учитывающая результаты расчетов СМЗУ при формировании ПДГ, внедрена для четырех контролируемых сечений ОЭС Сибири.

ПЛАНЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ И РАЗВИТИЮ СМЗУ

В процессе внедрения и эксплуатации работниками ОДУ Сибири были предложены усовершенствовать существующий алгоритм СМЗУ в части оптимизации выбора ВИР. Используемый в настоящее время алгоритм позволяет рассчитывать МДП в контролируемых сечениях с применением ВИР, характеризующегося неизменными в процессе утяжеления параметрами (например, неизменным составом генераторов, используемых для изменения режима, и неизменными коэффициентами участия генераторов в утяжелении).

Применение неизменного ВИР может приводить к тому, что при изменении балансовых условий нару-

шение статической аperiodической устойчивости после выполнения утяжеления может происходить в другом сечении, например в смежном относительно расчетного. Данное обстоятельство приводит к недоиспользованию пропускной способности рассматриваемого контролируемого сечения.

Для более полного использования пропускной способности электрической сети в СМЗУ необходима разработка алгоритма, учитывающего возможность формирования, автоматически корректируемого ВИР с целью получения расчетного нарушения устойчивости в рассматриваемом контролируемом сечении, что является одним из перспективных направлений развития СМЗУ.

Учитывая положительный эффект от внедрения СМЗУ, в АО «СО ЕЭС» планируется до 2024 г. внедрить СМЗУ в диспетчерских центрах всех филиалов АО «СО ЕЭС» ОДУ и 19 филиалов АО «СО ЕЭС» РДУ.

В ОЭС Сибири внедрение существующих алгоритмов СМЗУ будет продолжено на уровне ОДУ Сибири и филиалов АО «СО ЕЭС» РДУ. В период 2020–2023 гг. внедрение будет выполнено в 15 контролируемых сечениях шести филиалов АО «СО ЕЭС» РДУ.

В 2020 г. планируется начать внедрение в ОДУ Сибири алгоритмов СМЗУ, позволяющих учитывать при определении максимально допустимых перетоков критерий обеспечения динамической устойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка системы мониторинга запасов устойчивости является одним из важнейших проектов Системного оператора по развитию автоматизированных систем дис-

петчерского управления и реальным шагом к цифровой трансформации электроэнергетики.

При создании СМЗУ использовались самые современные на сегодняшний день достижения информационных технологий и возможности применения расчетных алгоритмов. СМЗУ позволяет в режиме реального времени, с учетом текущей схемно-режимной ситуации в энергосистеме определять значения МДП в заданных контролируемых сечениях в конкретный момент времени и представлять эту информацию оперативно-диспетчерскому персоналу.

Таким образом, внедрение цифровой технологии СМЗУ дает возможность при управлении и планировании режимов работы энергосистемы более полно использовать пропускную способность сети при сохранении нормируемого уровня надежности функционирования энергосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по устойчивости энергосистем (утв. приказом Минэнерго России от 03.08.2019 № 630). Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок. М., 2019.
2. Неуймин В.Г., Александров А.С., Максименко Д.М. Модуль определения МДП на базе RastrWin в проекте СМЗУ СРТО // Релейная защита и автоматика энергосистем: Сборник докладов XX конференции (Москва, 29–31 мая 2012). М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2012. С. 488–495.
3. Регламент проведения конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед. Приложение № 7 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка.
4. Регламент внесения изменений в расчетную модель электроэнергетической системы. Приложение № 2 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка.

Организаторы



АО «СО ЕЭС»



РусГидро



Электрификация

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Научно-технический
партнер



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

Релейная защита и автоматика энергосистем-2020



26 - 28 мая 2020

Москва

Центр Международной
Торговли (ЦМТ)

www.rza-expo.ru