

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

АВТОРЫ:

В.Г. НЕУЙМИН,
АО «НТЦ ЕЭС»

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

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

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

федерального округа. Операционная зона ОДУ Сибирь 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 пределы активной мощности; телеметрическая информация; система мониторинга запасов устойчивости.

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 Сибирь (ОЭС Сибирь), снижение стоимости IT-решений, возникли экономические и технические предпосылки создания и внедрения в эксплуатацию в филиале АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибирь (ОДУ Сибирь) 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 Сибирь 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 Сибирь;
- 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 Сибирь.

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

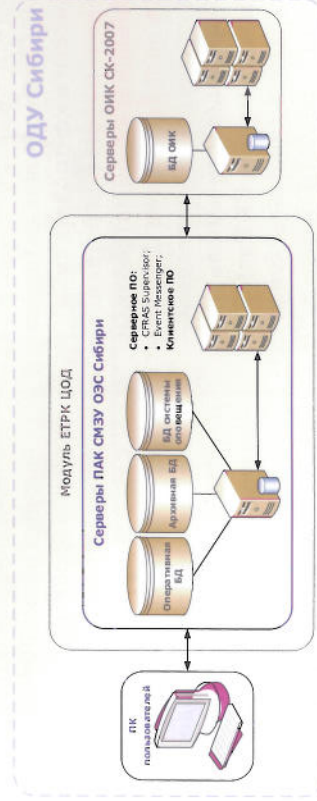
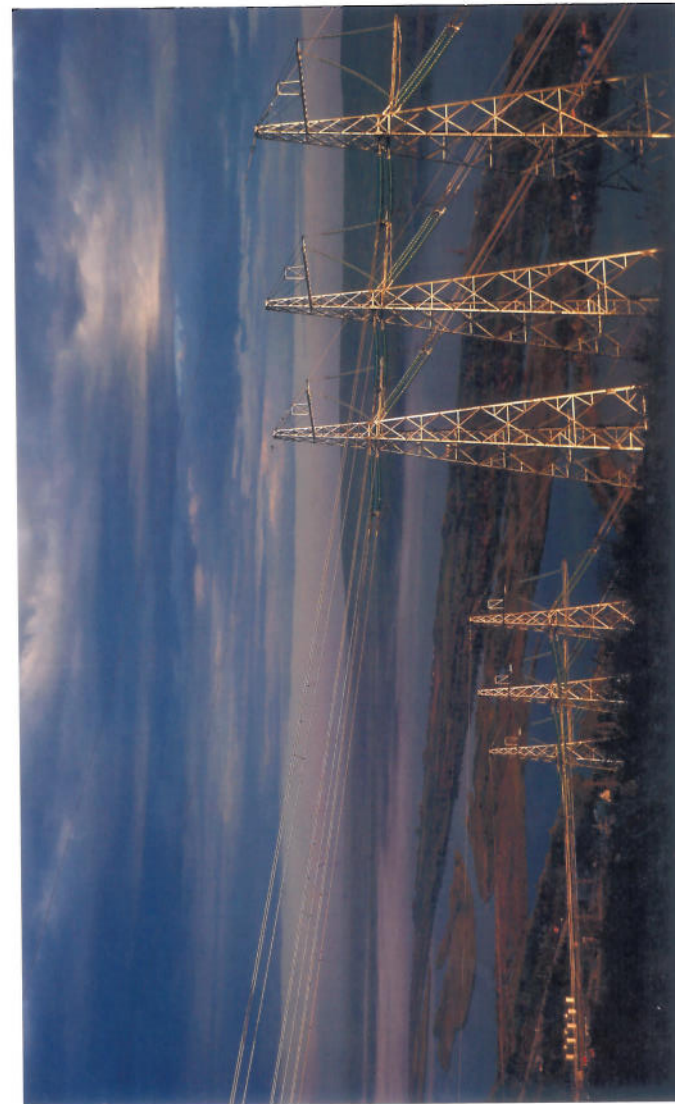


Рис. 1



Болуанская гидроэлектростанция

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

Адрес - Мониторинг 1 (24.07.2019 13:45:43) Контроль перетоков и ограничений в сечениях (СЭР) ОДУ Сибирь СК, сМЛин, ОИК - Арктик															
Сечение	ПА	Тек	И	МДП	ИК	МДП-ИК	Авар	Запас	Перегр.	Обр. отск.	Загр.	Разгр.	Смена	Темп	Управление
Енисей - Красноярская ГЭС	В	Р	26	983	80	1063	1650	1037			53		23:408	24,4	ОДУ Сибирь
Енисей - Красноярская ГЭС СМЗУ	В	Р	534	1504	80	1584	1910	1050					22:286	24,4	ОДУ Сибирь
Канала - Красноярская	В	Р	1	1550	70	1620	2100	1619					23:396	24,4	ОДУ Сибирь
Канала - Красноярская СМЗУ	В	Р	1714	2219	70	2289	2640	575					22:287	27,3	ОДУ Сибирь
Выдача мощности Богучанской ГЭС	В	Р	1884	10000	15	10000	10000	8116					6140	25,0	ОДУ Сибирь

Рис. 2

- второй уровень - «База данных» - предназначен для хранения 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 Сибирь 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. системы оповещения;
 - 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 Сибирь:

- Администратор (wAdmin.exe) - инструмент для управления настройками комплекса и учетными записями пользователей;
- Конструктор (wConstrucstog.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 RastriWin, 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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАК СМЗУ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ

В настоящее время результаты расчетов ПАК СМЗУ применяются

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 используется модуль единого территориально-распределенного корпоративного центра обработки данных (ЕТРК ЦОД) (рис. 1).

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 Сибирь.

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

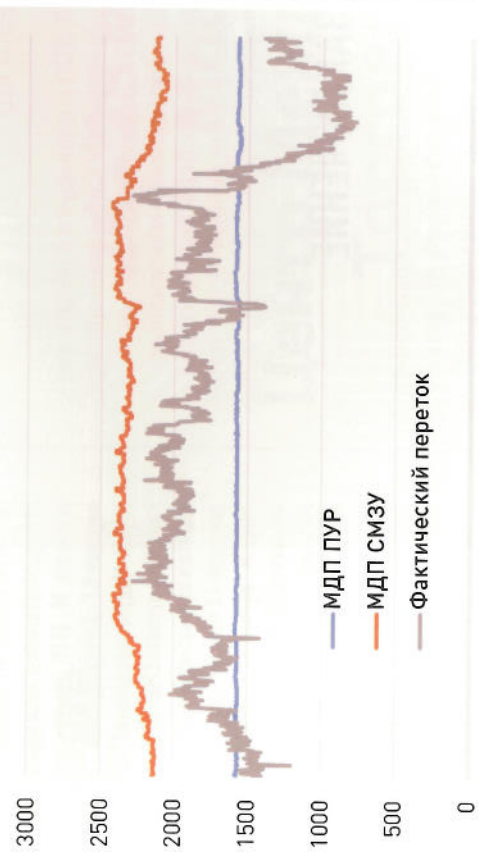


Рис. 3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАК СМЗУ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕЖИМОВ

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

при управлении электроэнергетическим режимом в 13 контролируемых сечениях ОЭС Сибирь. Для выполнения расчетов используется информация о более чем 10 000 параметров электроэнергетических режимов. Это позволяет с учетом изменения схемно-режимной ситуации в энергосистеме обеспечивать максимальное использование пропускной способности электрической сети ОЭС Сибирь. 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 Сибирь.

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

При этом согласно регламентующим 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 усовершенствованные 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, автоматический 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. Нейжин В.Г., Александров А.С., Максимова Д.М. Модуль определения МДП на базе RastWin в проекте СМЗУ СПТО // 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



sigre
Россия



РОССЕТИ
ФСК ЕЭС



Электрификация

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



НИК В5
sigre
Россия

Научно-
технический
партнер



ВНИИР

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

Релейная защита и автоматика энергосистем-2020



26 - 28 мая 2020

Москва

Центр Международной
Торговли (ЦМТ)

www.rza-expo.ru