

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ЗАПАСОВ УСТОЙЧИВОСТИ**

Толонов К.Б., оператор 4 научной роты

Научный руководитель: Изория Д.А., младший научный сотрудник

Федеральное государственное автономное учреждение

военный инновационный технополис «ЭРА»

г. Анапа

Система мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) – это разработанный АО «НТЦ ЕЭС» совместно с Системным оператором программно-технический комплекс для расчета максимально допустимых перетоков (МДП) и аварийно допустимых перетоков (АДП) активной мощности в электрической сети в режиме реального времени [1].

СМЗУ с определенной периодичностью выполняет расчет МДП и АДП в режиме реального времени. Это позволяет осуществлять управление электроэнергетическим режимом с максимальным использованием пропускной способности электрической сети в текущих схемно-режимных и схемно-режимных условиях функционирования энергосистемы.

Этапы работы СМЗУ:

- 1) Прием телеметрической информации в базы данных СМЗУ из оперативного информационного комплекса (ОИК);
- 2) Оценивание состояния энергосистемы на основании получаемой информации;
- 3) Формирование расчетной модели;
- 4) Расчет МДП в заданных контролируемых сечениях;
- 5) Вывод диспетчеру результатов расчетов СМЗУ в ОИК.

Теперь распишем каждый этап подробнее. Для расчетов СМЗУ должны быть известны напряжения в узлах сети, перетоки активной мощности, частота, а также топология сети. Сначала информация собирается в режиме реального времени на объектах электроэнергетики с помощью измерительных приборов в цепях измерительных трансформаторов напряжения и трансформаторов тока (телеизмерения), а также по положению блок-контактов собирается информация о положении коммутационных аппаратов (телесигнализация). Далее полученные измерения поступают в контроллер системы телемеханики, и после этого контроллер с объектов электроэнергетики по каналу связи отправляет измерения в диспетчерский пункт (ДП). Там данные также поступают в контроллер, после чего попадают в ОИК, а уже оттуда в СМЗУ.

На рисунке 1 показана схема получения данных с энергообъектов, в данном случае с двух подстанций (ПС) передаются телеизмерения и телесигнализация в диспетчерский пункт (ДП).

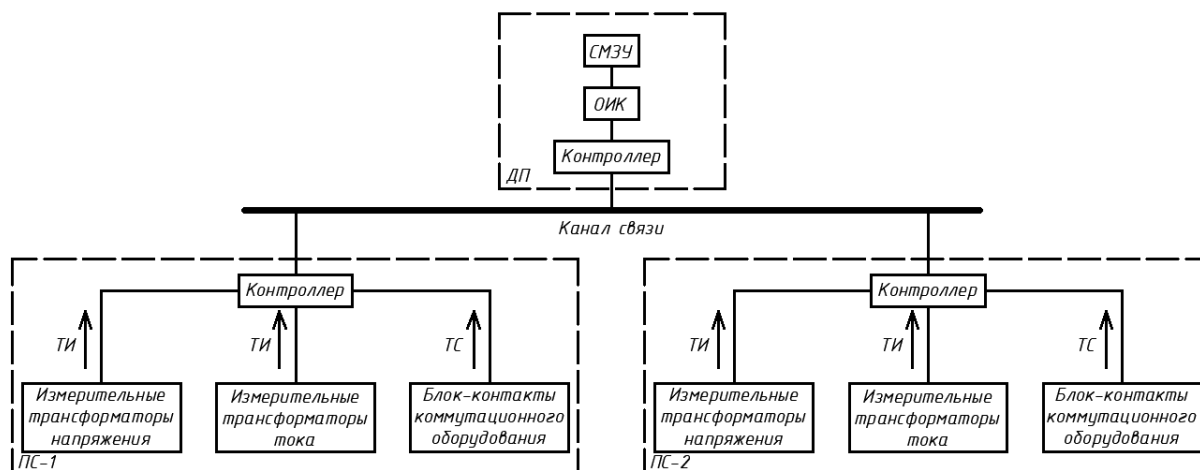


Рисунок 1 – Схема получения данных с энергообъектов:
ТИ – телеизмерения, ТС – телесигнализация

Также возможно использование информации поступающей от системы мониторинга переходных режимов (СМПР). СМПР использует технологию синхронизированных векторных измерений (СВИ), в результате чего возможно одновременно регистрировать параметры режима (U , δ , I , P , Q , f) во всех узлах сети с малым шагом дискретизации и высокой точностью. После чего СМПР передает измеренные параметры в ОИК.

После этого происходит оценка состояния и в результате ее решения формируется расчетная математическая модель энергосистемы в режиме реального времени. Далее определяются наиболее опасные сечения, в которых рассчитываются МДП по условиям статической и динамической устойчивости. Полученные значения МДП и опасные сечения выводятся диспетчеру. Схема работы СМЗУ показана на рисунке 2

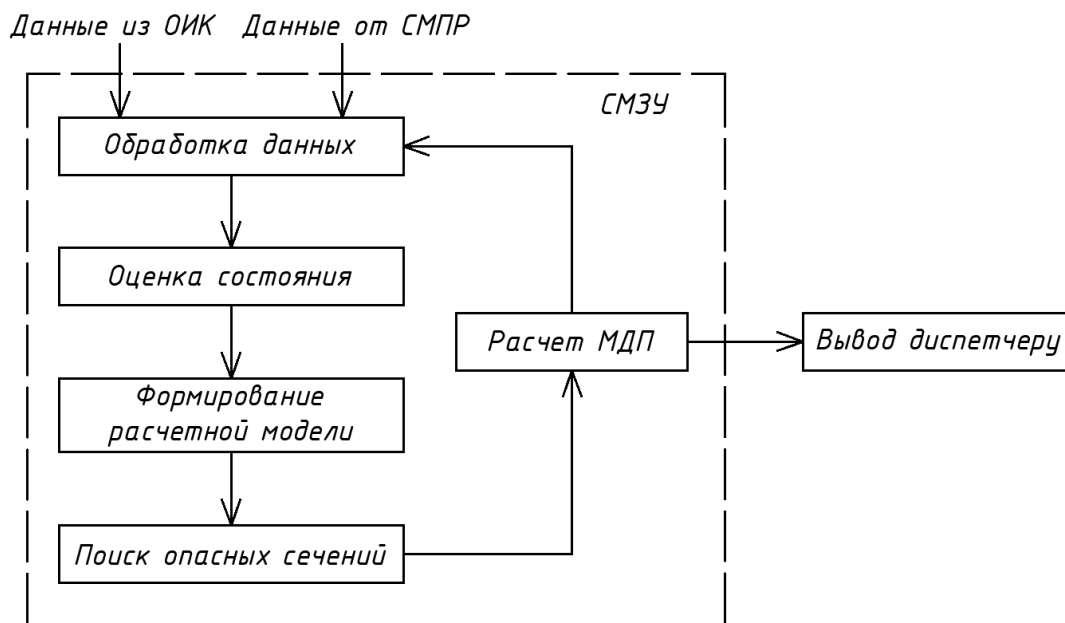


Рисунок 2 – Схема работы СМЗУ

Расчет МДП занимает 5-10 минут и осуществляется по критериям обеспечения статической и динамической устойчивости. При этом расчет происходит непрерывно, так как на величину МДП влияют: схема электрической сети (нормальная, ремонтная), величины напряжений в узлах сети, состав и режим работы генерирующего оборудования, а после каждого цикла эти параметры могут измениться.

Без использования СМЗУ расчеты МДП и АДП производятся вручную инженерами-технологами по методическим указаниям по устойчивости энергосистем. По данным методическим указаниям режим должен проходить по нескольким критериям.

Критерии определения МДП:

1) Коэффициент запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в нормальной режиме до нормативного возмущения – не менее 0,20;

2) Коэффициент запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийном режиме после нормативного возмущения – не менее 0,08;

3) Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узле нагрузки в нормальном режиме в доаварийной схеме – не менее 0,15

4) Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узле нагрузки в послеаварийном режиме после нормативного возмущения – не менее 0,10;

5) Токовая нагрузка линий электропередачи и электросетевого оборудования в нормальном режиме – не более длительно допустимой; в послеаварийном режиме – не более аварийно допустимой на время 20 минут токовой нагрузки;

6) Отсутствие нарушения динамической устойчивости генерирующего оборудования при нормативных возмущениях [2].

При этом данные критерии учитывают наиболее неблагоприятное сочетание схемно-режимных условий функционирования энергосистем.

Расчет МДП осложняется еще и тем, что в энергосистеме происходят различные изменения: изменяется топология сети с вводом нового оборудования или выводом существующего из эксплуатации, изменяются параметры сетевого и генерирующего оборудования, происходит перераспределение нагрузок в узлах сети в соответствии с суточными и сезонными ритмами [3]. Из-за всего этого пропускная способность используется не полностью. Использование фактических режимно-балансовых условий функционирования энергосистемы позволяет обеспечить максимальное использование фактической пропускной способности сети.

На рисунках 3 и 4 показан эффект от внедрения СМЗУ. На рисунке 3 он показан на примере контролируемого сечения двух ЭЭС, а на рисунке 4 он показан на примере графиков.

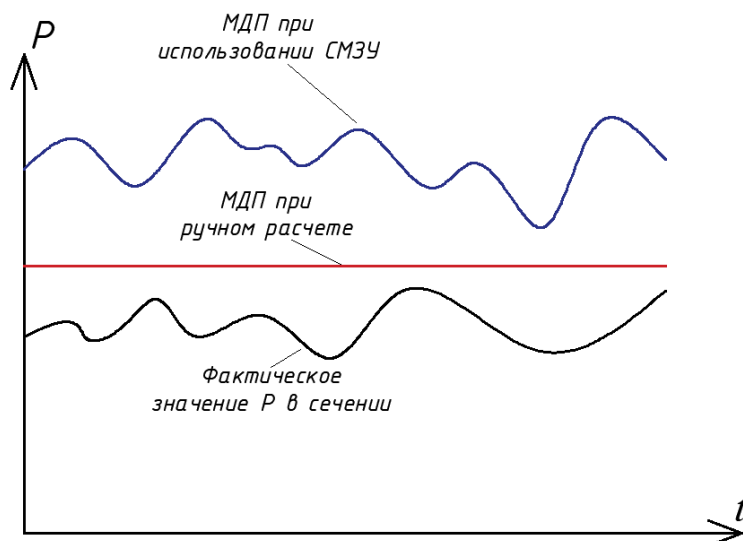


Рисунок 3 – График зависимости МДП от времени при ручном расчете и использовании СМЗУ

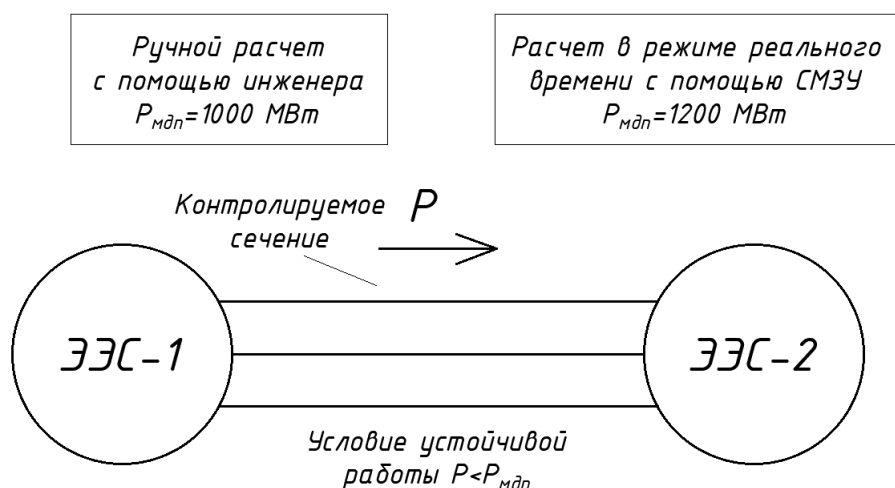


Рисунок 4 – Эффект от использования СМЗУ

В 2013 году Системный оператор начал создавать СМЗУ, и уже в 2015 году система была внедрена в операционную зону Кольского РДУ. По расчетам благодаря внедрению СМЗУ МДП в контролируемых сечениях Кольского РДУ увеличился от 80 МВт до 290 МВт [4]. В операционной зоне Иркутского РДУ технология СМЗУ была внедрена в феврале 2021 года в контролируемом сечении «Прием на ПС 220 кВ Шелехово», что позволило увеличить пропускную способность до 12% (на 100 МВт) без снижения уровня надежности. В операционной зоне Красноярского РДУ ввод СМЗУ в состав контролируемого сечения «Прием в Центральный энергорайон» обеспечивает возможность увеличения степени использования пропускной способности на величину до 7% (на 165 МВт) [5].

Система мониторинга запасов устойчивости учитывает особенности отечественной энергетики и позволяет увеличить МДП в контролируемых сечениях, не строя при этом новых линий. Увеличение пропускной способности

линий происходит в среднем на 10-20%. СМЗУ уже внедрена в многие объединенные энергосистемы (ОЭС) и продолжает внедряться, т.к. система показывает свою эффективность. Но только знание МДП в контролируемом сечении не мотивирует диспетчера изменять переток в этом сечении, поэтому дальнейшее использование СМЗУ – это передача данных в устройства автоматики регулирования частоты и мощности (АРЧМ), где уже МДП может стать автоматической уставкой, а также для уставок противоаварийной автоматики, например, для автоматики при перегрузке по мощности.

Список литературы:

1. АО «Системный оператор Единой энергетической системы»: официальный сайт – URL: <https://www.so-ups.ru/odu-siberia/news/odu-siberia-news-view/news/18362/> (дата обращения 13.03.2026) – Текст : электронный
2. СТО 59012820.27.010.004–2020. Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях – Москва, 2020 – с.13. Текст : непосредственный
3. Аксаева, Е.С. Разработка методического подхода для оценивания допустимых перетоков активной мощности в контролируемых линиях электроэнергетических систем реального времени : специальность 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аксаева Елена Сергеевна; Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Иркутск, 2018. – 153с. – Библиогр.: с. 15. – Текст : непосредственный.
4. Корпоративный бюллетень АО «Системный оператор Единой энергетической системы» 50 Гц №3 (27), 2017, с. 2-3. – Текст : непосредственный
5. Научно-технический центр Единой энергетической системы: официальный сайт – URL: https://ntcees.ru/news/2024/news_1_01-02-2024 (дата обращения 16.03.2026). – Текст : электронный