

# **Отказоустойчивость системы мониторинга запасов устойчивости при частичной потере телеметрической информации**

Подглазова В.В., Васильев А.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, инженерная школа энергетики, прикладная информатики, информационные технологии в электроэнергетике, отделение электроэнергетики и электротехники, гр. О-5КМ11.

## **Введение**

Одной из задач Системного оператора является управление технологическими режимами работы объектов ЕЭС России в реальном времени, для выполнения этой задачи необходимо знать максимально допустимые перетоки по контролируемым сечениям (КС). Система мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) позволяет рассчитывать допустимые перетоки (ДП) в КС в текущей схемно-режимной ситуации с определённой периодичностью. Благодаря тому, что перетоки рассчитываются по фактическому схемно-режимному состоянию, а не по самому тяжёлому, СМЗУ обеспечивает управление электроэнергетическим режимом с более полным использованием пропускной способности электрической сети.

В случае потери части телеметрии (ТМ) появляется риск того, что СМЗУ в процессе оценивания состояния (ОС) может не сформировать файл режима, что не позволит определить ДП или сформированный файл будет недостоверный, в результате чего значения ДП могут не соответствовать реальной режимной ситуации. Во избежание снижения надёжности появляется необходимость перехода к управлению режимом по значениям ДП ПУР, иначе при отказе СМЗУ вынужденный переход на ДП ПУР может приводить к вводу графиков временного ограничения потребления, использованию резервов активной мощности и к снижению экономических показателей энергосистемы. Между тем, переход к ДП ПУР может быть избыточен.

Решение проблемы избыточного перехода к ДП ПУР и ограничения пропускной способности электрических сетей может состоять в разработке подхода к снижению числа случаев переходов от ДП СМЗУ к ДП ПУР.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА**

В качестве исходных данных использованы срезы ТМ, выгруженные из Архива СМЗУ. Для решения задач исследования проведен ряд расчётов, связанных с отключением единичной ТМ в результате отказа измерительного оборудования и отключением всей ТМ с отдельных объектов электроэнергетики, что в большинстве случаев соответ-

стствует потере канала связи между объектом и Филиалом СО. Для получения статистически значимых результатов был определён необходимый объём выборки, равный ста срезам ТМ. Выборка сформирована по условию малых изменений перетоков в КС, что позволяет исключить влияние схемно-режимной ситуации на результаты исследования.

Количество экспериментов исчисляется сотнями тысяч, поэтому созданы специализированные приложения на языке программирования С#, позволяющие автоматизировать расчётные эксперименты.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ТМ НА УСПЕШНОСТЬ ОС**

В результате исследования влияния потерь ТМ на успешность ОС на статистически значимой выборке были получены следующие результаты:

1. Потеря единичной ТМ и потеря всей ТМ с объекта ЭЭ не приводят к отклонению предельного перетока в КС выше критического, установленного на уровне нерегулярных колебаний в КС.

2. ТМ, отключение которой приводит к неуспешному ОС не ограничена конкретной областью, а распределена по всей схеме энергосистемы. Невозможно выделить части схемы, которым следует уделять большее внимание при потере ТМ.

3. Отсутствует влияние типа измеряемого параметра теряемой ТМ и класса напряжения объекта – источника ТМ на результат оценивания состояния СМЗУ.

4. Наблюдается корреляция между количеством телеметрии, участвующей в ОС и количеством телеметрии, отключение которой приводит к неуспешной ОС. Чем выше количество ТМ, участвующей в ОС, тем выше количество ТМ, отключение которой приводит к неуспешной ОС.

5. В соответствии с рисунком 1, отключение практически любой единичной ТМ может привести к неуспешному ОС, но с различной вероятностью. В 99,9% случаев вероятность неуспешного ОС при отключении единичной ТМ не превышает 20%. Из гистограммы, представленной на рисунке 1 исключены две ТМ, отключение единичное которых приводит к неуспешному ОС с вероятностью 72% и 51% соответственно.

6. Не выявлены объекты ЭЭ, отключение всей ТМ, с которых с вероятностью более 15% приводило бы к неуспешному ОС.

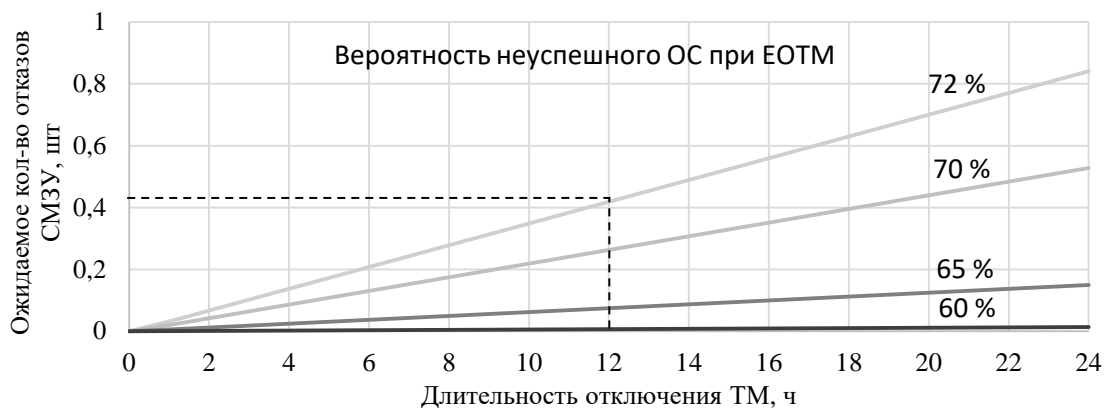


Рисунок 1. Эмпирическая плотность распределения вероятности неуспешной ОС при потере единичной ТМ

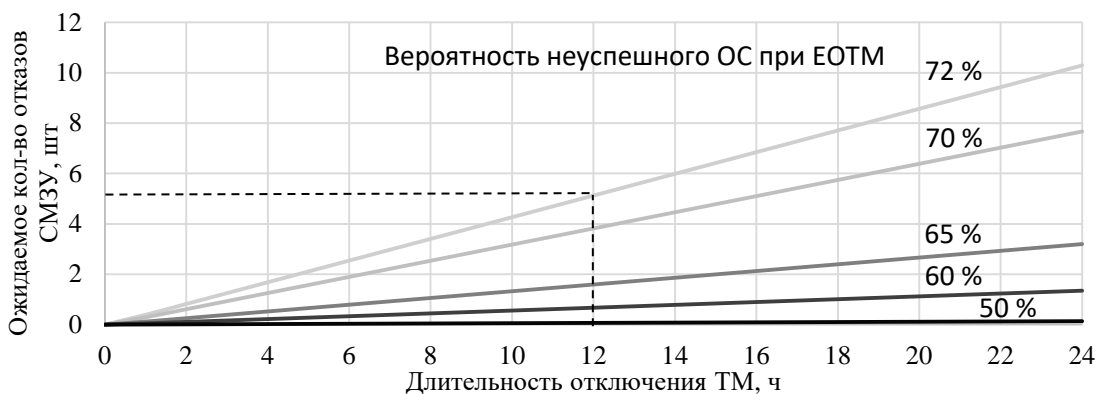
### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЕВ ОТКАЗОВ СМЗУ ПРИ ПОТЕРЕ ТМ

В данной работе отказом СМЗУ считается невозможность расчёта ДП в течении заданного интервала времени или выдача некорректного ДП. Моделирование отказов СМЗУ производится для текущей версии СМЗУ (3.3.0), в которой на нескольких серверах-счётчиках производятся расчёты ДП. На каждом сервере производится чтение ТМ из ОИК, ОС, формирование текущей расчётной математической модели и расчёт ДП в заданных КС. На каждом сервере-счётчике производится расчёт ДП для нескольких КС. Для моделирования отказов СМЗУ были выбраны три сервера с различными временами перехода на ДП ПУР ( $T_z$ ), по истечению которого происходит переход на ДП ПУР если не изменяется ДП СМЗУ.

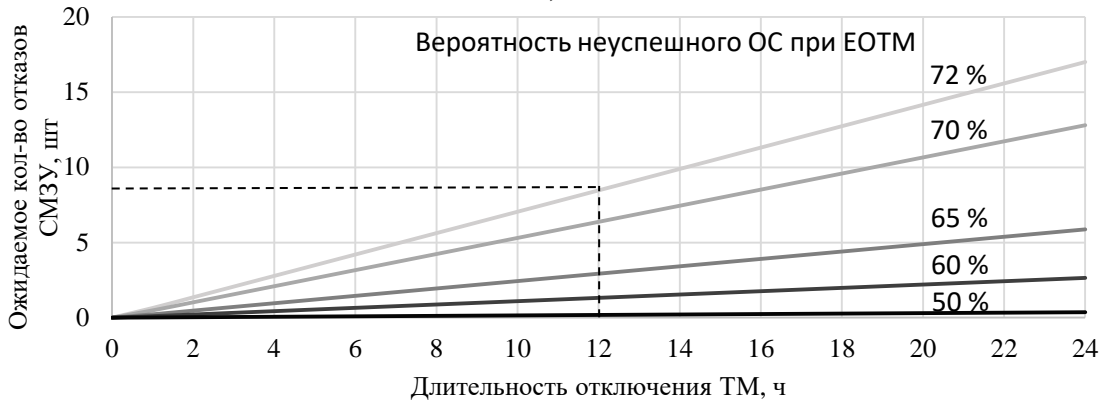
На рисунке 2 приведены зависимости ожидаемого количества переходов ДП ПУР при единичном отключении ТМ (ЕОТМ) от времени. За фиксированный промежуток времени большее количество отказов ожидается на сервере с наименьшей длительностью цикла расчёта (в данном случае это сервер №3).



а)



б)



в)

Рисунок 2. График зависимости ожидаемого количества переходов на ДП ПУР при ЕОТМ от времени: а) - сервер №1, б) - сервер №2, в) - сервер №3

По результатам исследований на статистически значимой выборке наибольшая вероятность неуспешного ОС при отключении единичной ТМ составила 72%. Отключение такой ТМ на 24 часа приводит к отказу СМЗУ с вероятностью 54% на сервере №1 и вероятностью 99,9% на сервере №3 (рисунок 3). Однако в исследуемой выборке это единичный случай.

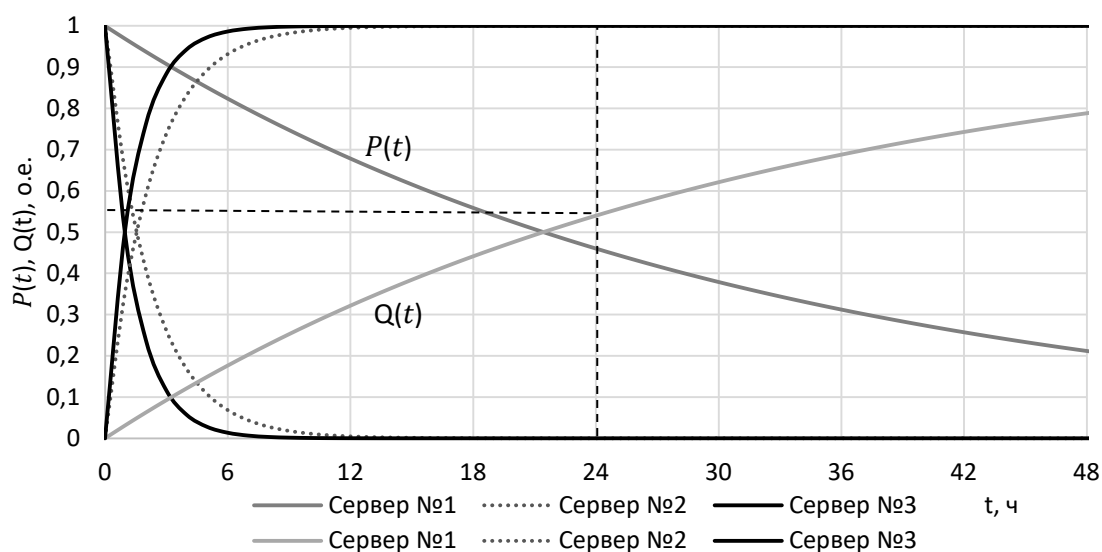


Рисунок 3. Вероятность безотказной работы серверов СМЗУ при ЕОТМ. Вероятность неуспешной ОС при отключении ТМ – 72%.

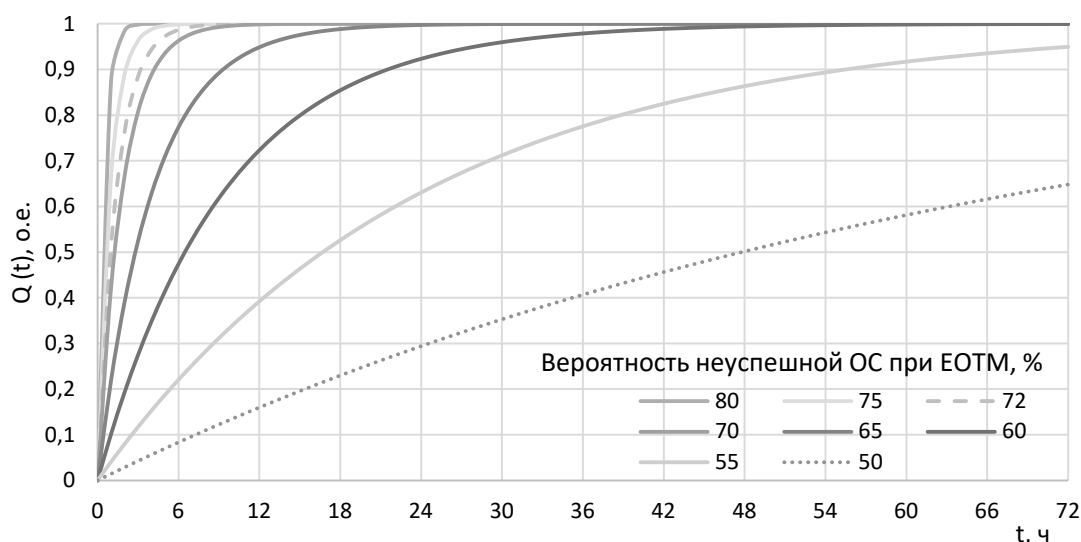


Рисунок 4. Вероятность отказа СМЗУ при ЕОТМ на сервере №3

Так как отключение единичной ТМ наиболее часто приводит к неуспешному ОС с вероятностью менее 22% (рисунок 1), то вероятность отказа СМЗУ при потере такой единичной ТМ близка к нулю, что следует из рисунка 4. Однако выявлена единичная ТМ, отключение которой с вероятностью 51 – 72% приводит к неуспешному ОС. При потере такой ТМ на 24 часа вероятность отказа СМЗУ составляет 46 – 99 % в зависимости от сервера.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования не выявлены какие-либо признаки ТМ, на основании которых можно сделать вывод о наиболее сильном влия-

нии потери этой ТМ на оценивание состояния СМЗУ. Следовательно, частичная потеря телеметрической информации не должна являться безусловной причиной перехода управления режимом на ДП ПУР. Переход управления режимом на ДП ПУР должен быть обоснован.

Способом обоснования может служить определение показателей надёжности оценивания состояния СМЗУ при потере ТМ. Предлагаемый подход позволяет оценить вероятность перехода управления режимом на ДП ПУР. Оценка показателей надёжности позволит принять обоснованное решение о необходимости перехода на ДП ПУР и снизить число переходов без снижения надёжности СМЗУ.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Средство от опасных перетоков [Текст] / Корпоративный бюллетень АО «СО ЕЭС» // 50 Гц. – 2017. – № 3. – С. 1–3.

2. Методические указания по устойчивости энергосистем / Министерство энергетики Российской Федерации. – Москва: НЦ ЭНАС, 2018. – 25 с.

3. Максименко Д.М. Оценивание состояния энергосистем и ввод режима в допустимую область оптимизационным методом внутренней точки: дис. кан. тех. наук: 05.14.02 – УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, 2017. 169 с.

4. Положение по управлению режимами работы энергосистемы в операционной зоне Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири. – Кемерово: АО «СО ЕЭС», 2022.

Научный руководитель: А.С. Васильев, к.т.н., доцент отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики ТПУ.