

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА ДЛЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕТОКОВ ПО КРИТЕРИЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Соловьев М.Б.

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Объем расчетов переходных процессов, выполняемых с целью определения максимально допустимого перетока (МДП) по критерию обеспечения динамической устойчивости, определяется количеством учитываемых влияющих факторов.

При работе с большим объемом расчетов вычисления могут занять большое количество времени, что повлечет за собой увеличение вычислительных ресурсов. Для решения данной проблемы можно ограничить перечень рассматриваемых возмущений.

В данной работе предлагается способ ранжирования возмущений, рассматриваемых при определении МДП, при помощи показателей тяжести динамического перехода – различных режимных параметров, которые отражают тяжесть возмущения. Моделирование переходного процесса при расчете показателей выполняется до момента возникновения короткого замыкания, что позволяет сократить время расчета.

После ранжирования можно ограничить перечень рассматриваемых возмущений до одного наиболее тяжелого, при котором величина МДП будет минимальна. Это позволит сократить общее время расчетов.

I. АЛГОРИТМ РАНЖИРОВАНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Традиционная методика работы специалиста службы электрических режимов (СЭР) диспетчерского центра при определении МДП по критерию обеспечения динамической устойчивости [1] для одной схемы сети представлена на рис. 1.

Методику можно разделить на 3 этапа: подготовку исходных данных, проведение расчетов динамической устойчивости (ДУ) и определение величины МДП. После этого при необходимости проводятся дополнительные расчеты для другого состава включенного генерирующего оборудования (ВГО).

Работа программного обеспечения (ПО) заключается в автоматизированном расчете сценариев рассматриваемых возмущений, выполняемом при помощи специального ПО «Rustab Robot».

Предлагаемая методика ранжирования возмущений по показателям тяжести динамического перехода представлена на рис. 2. Цветом выделены те блоки, что добавлены к традиционной методике.

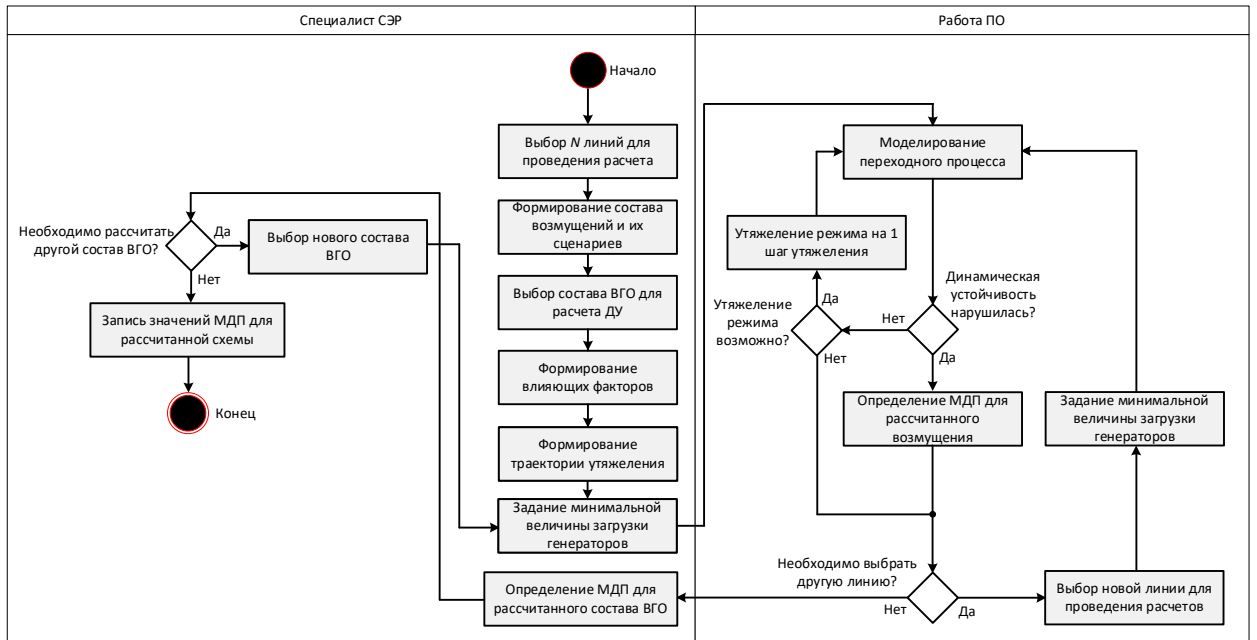


Рис. 1 – Алгоритм работы технолога при определении величины МДП для одной схемы сети

Данный алгоритм действий имеет этапы, аналогичные методике технолога.

Основное различие предложенного алгоритма от методики технолога состоит в том, что технологу для определения МДП необходимо произвести для всех возмущений моделирование переходных процессов с длительностью, заданной технологом в настройках. Критерием остановки расчета является достижение фиксированного момента модельного времени.

Алгоритм ранжирования предполагает полный расчет переходных процессов только для одного, наиболее тяжелого возмущения. Данное возмущение определяется с помощью показателей тяжести.

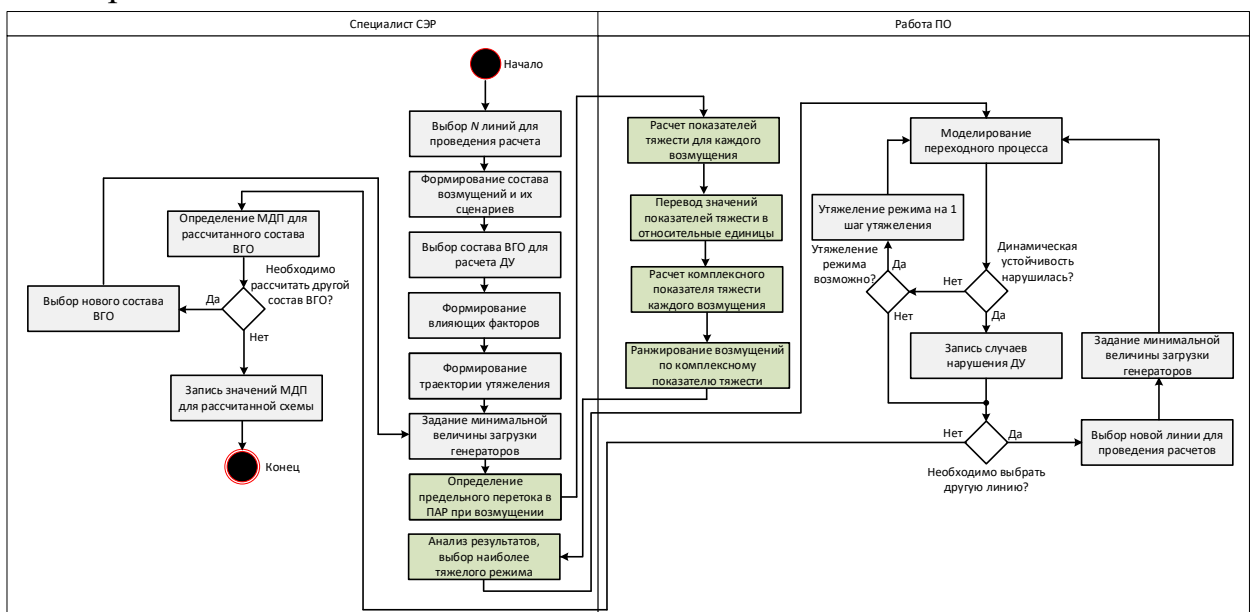


Рис. 2 – Алгоритм ранжирования возмущений при определении величины МДП для одной схемы сети

II. ПЕРЕЧЕНЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ

В данной работе в качестве показателей тяжести динамического перехода представлены параметры режима, оценка которых необходима для определения МДП:

1. Начальное значение угла ротора генератора δ_0

Данный показатель участвует в оценке тяжести возмущения, т.к. при разном начальном угле один и тот же сброс мощности будет приводить к нарушению динамической устойчивости за разное время.

2. Сброс активной мощности ΔP
3. Падение напряжения ΔU
4. Время ликвидации КЗ $t_{КЗ}$
5. Предельный переток в послеаварийном режиме $P_{ПАР}$ (ПАР) [2]

Данный показатель отражает изменение перетока вследствие отключения элементов сети при ликвидации рассматриваемого возмущения. Он нужен для оценки влияния возмущения на послеаварийный режим, а именно на значение перетока в сечении.

6. Комплексный показатель тяжести (КПТ)

Совокупный эффект, оказываемый возмущением на тяжесть динамического перехода. Представляет собой произведение всех показателей тяжести, выраженных в относительных единицах:

$$КПТ = \delta_0 \cdot \Delta P \cdot \Delta U \cdot t_{КЗ} \cdot P_{ПАР}$$

Данный показатель определяет тяжесть возмущения, по нему будет проводиться ранжирование возмущений по предложенному алгоритму.

III. СРАВНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАНЖИРОВАНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ С ТРАДИЦИОННОЙ МЕТОДИКОЙ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ТЕХНОЛОГОМ

Рассмотрим определение МДП по критерию обеспечения динамической устойчивости для сечения «Выдача мощности Богучанской ГЭС».

Для этого технологу необходимо рассмотреть сразу несколько схем сети для данного сечения при разных составах ВГО. В качестве примера рассмотрим следующие схемы сети:

1. Ремонт воздушной линии (ВЛ) 500 кВ Ангара – Камала-1 и кабельно-воздушной линии (КВЛ) 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная (4 генератора в работе, отключены генераторы № 4, 5, 6, 7 и 9);
2. Ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2 (6 генераторов в работе, отключены генераторы № 6, 7 и 9);
3. Ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная (5 генераторов в работе, отключены генераторы № 5, 6, 7 и 9);

4. Ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2 (9 генераторов в работе).

В качестве начальных условий примем начальную загрузку генераторов равной 275 МВт. При расчетах была использована траектория утяжеления, моделирующая увеличение загрузки генераторов Богучанской ГЭС на 5 МВт за каждый цикл расчета. Загрузка генераторов меняется от 275 МВт до 330 МВт.

Нормативные возмущения будем рассматривать в начале и в конце линий, входящих в состав сечения «Выдача мощности Богучанской ГЭС», а также для линий первого пояса данного сечения.

Общий перечень возмущений представлен 60 различными возмущениями, различающимися местом возникновения и группой нормативных возмущений от I до III. Это количество будет меняться в зависимости от рассматриваемой схемы.

Для определения МДП рассчитаем динамическую устойчивость по методике технолога (таблица 1).

Таблица 1 – Результат расчета переходных процессов по методике технолога

№ схемы	№ возмущения согласно общему перечню	Возмущение	Шаг нар. ДУ	МДП, МВт	Кол-во п/п для расчета
1	34	$K^{(1,1)}$, ВЛ 500 кВ Ангара – Озерная вблизи ПС 500 кВ Ангара	0	1031	97
2	14	$K^{(1,1)}$, КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная вблизи Богучанской ГЭС	0	1581	49
3	2	$K^{(1,1)}$, КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 вблизи Богучанской ГЭС	0	1305	49
4	2	$K^{(1,1)}$, КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 вблизи Богучанской ГЭС	1	2448	62

Длительность моделируемого переходного процесса составляет 4 с, момент возникновения КЗ – 0.5 с. Машинное время расчета одного переходного процесса составляет 4 минуты, а одного показателя тяжести – 30 секунд.

В результате для определения величин МДП для рассматриваемых схемно-режимных ситуаций необходимо произвести 257 расчетов динамической устойчивости (таблица 1), что составляет 17 часов и 8 минут. По итогу мы получим величину МДП для одного состава ВГО каждой схемы. В действительности же машинное время расчета только одного сечения может занимать несколько недель.

Теперь рассмотрим применение ранжирования возмущений по показателям тяжести для определения МДП рассматриваемых схем сети.

Перечень возмущений для каждой схемы представлен в таблице 2. Для каждой схемы были выбраны отдельные возмущения из общего перечня. Это было сделано потому, что для разных схем перечень возмущений отличается, т.к. изменяется состояние линий. Номера возмущений представлены согласно общему перечню возмущений.

Таблица 2 – Перечень возмущений, рассматриваемых при расчете показателей тяжести, для схем сети

№ схемы	№ возмущений согласно общему перечню
1	1, 2, 7, 8, 21, 22, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 58, 59
2	13, 14, 17, 18, 21, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 41, 42, 45, 46, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 58, 59
3	1, 2, 7, 8, 21, 22, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 41, 42, 45, 46, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 58, 59
4	1, 2, 7, 8, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 41, 42, 45, 46, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 58, 59

Итого было рассчитано 104 сценария возмущений. Расчет показателей для данного количества возмущений занял 52 минуты. Результат расчета тяжести возмущений и их ранжирования для каждой из схем представлен на рис. 3, где по оси X – номера возмущений согласно таблице 2, а по оси Y – величина рассчитанной тяжести возмущения, т.е. величина КПТ.

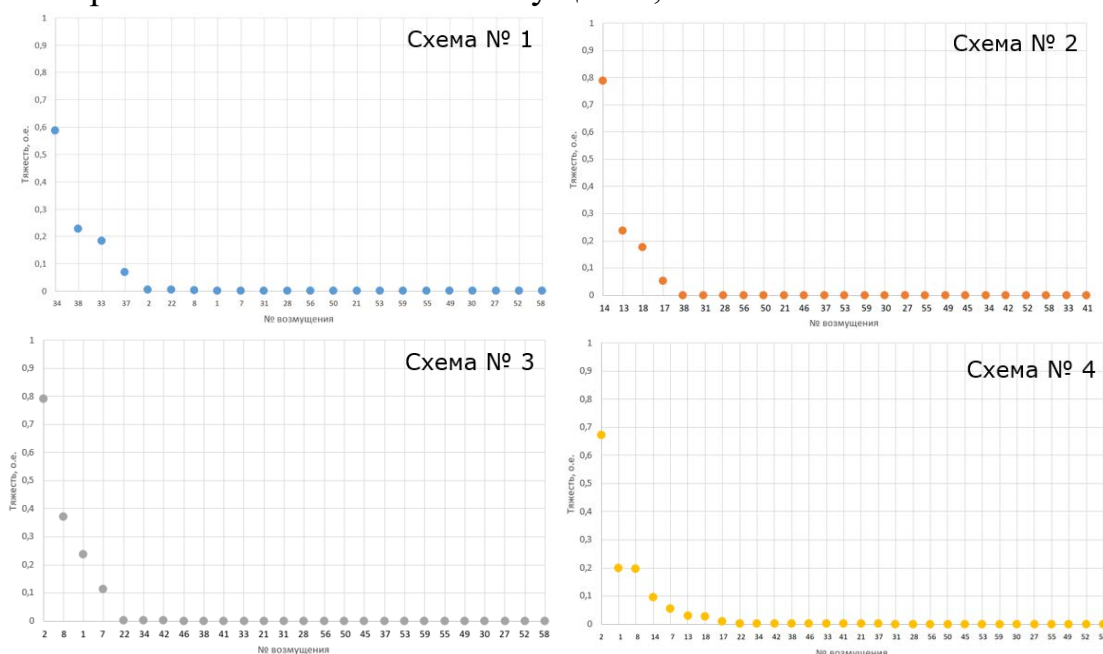


Рис. 3 – Результаты ранжирования возмущений для каждой схемы сети

Как видно, номера наиболее тяжелых возмущений совпали с номерами возмущений, при которых нарушается динамическая устойчивость для данных схем (таблица 1). Произведем расчет переходных процессов для данных возмущений. По итогу получим результаты, аналогичные таблице 1.

В данном случае серия полных расчетов динамической устойчивости составила 5 переходных процессов: по одному переходному процессу на пер-

вые три схемы (т.к. устойчивость нарушается и без утяжеления режима), а также 2 переходных процесса на схему № 4 (нарушение устойчивости на первом шаге утяжеления). Затраты по времени на расчет динамической устойчивости составили около 20 минут, а на определение МДП с учетом расчета показателей тяжести – 1 час и 12 минут.

Сравним в данном примере две методики определения МДП по критерию обеспечения динамической устойчивости:

- Время, которое необходимо для определения МДП, при использовании ранжирования возмущений составило 1 час и 12 минут, что в 14.28 быстрее, чем при использовании методики технолога (17 часов и 8 минут);
- Количество расчетов сократилось с 257 расчетных случаев до 5 в случае использования ранжирования возмущений.

В результате рассмотрения примеров можно сделать вывод, что ранжирование помогает значительно сократить общее время расчетов за счет ограничения перечня возмущений. Данный перечень сокращается до моделирования только наиболее тяжелого возмущения.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

Ранжирование возмущений с помощью показателей тяжести динамического перехода позволяет сократить объем рассматриваемых возмущений при определении величины МДП по критерию обеспечения динамической устойчивости. Это приводит к сокращению общего времени расчетов, выполняемых технологом.

Также данный подход был протестирован при определении неустойчивых случаев для задачи расчета управляющих воздействий противоаварийной автоматики, где также удалось сократить перечень рассматриваемых возмущений и сократить общее время расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по устойчивости энергосистем / Министерство энергетики Российской Федерации. – Москва: НЦ ЭНАС, 2018. – 25 с. – Утверждено: Приказом Минэнерго России;
2. Teeparthi, K., Vinod Kumar, D.M. Power System Security Assessment and Enhancement: A Bibliographical Survey. J. Inst. Eng. India Ser. B 101, 163– 176 (2020).

Научный руководитель: А.В. Прохоров, к.т.н., доцент, «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».