



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Технологии расчета электрических режимов. Формирование расчетных моделей, расчет и анализ перспективных, текущих и аварийных электроэнергетических режимов

Дьячков Владимир Анатольевич, к.т.н.
Заместитель главного диспетчера по режимам АО «СО ЕЭС»

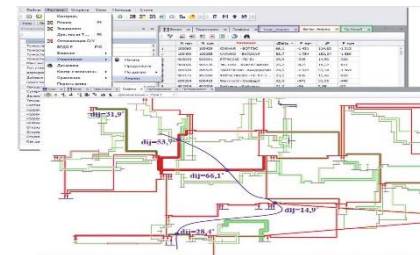


Расчеты электроэнергетических режимов

2

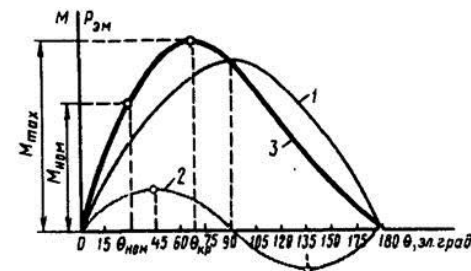
Расчеты
установившихся
режимов

Определение
допустимости
параметров режима



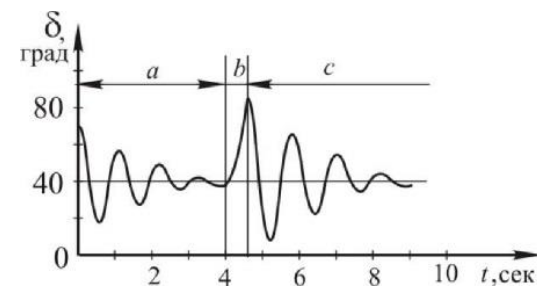
Расчеты
статической
устойчивости

Оценка выполнения
требований к
статической
устойчивости



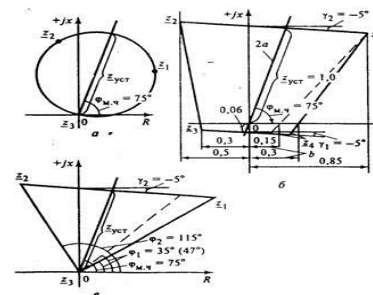
Расчеты
динамической
устойчивости

Оценка динамической
устойчивости
генерирующего
оборудования



Расчеты
параметров
аварийного режима

Определение
параметров настройки
устройств РЗА,
проверка оборудования





Основные нормативно правовые акты

3

Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»

Федеральный закон Российской Федерации
26 марта 2003 года № 35-ФЗ

ОБ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Принят
Государственной Думой
21 февраля 2003 года

Одобрен
Советом Федерации
12 марта 2003 года

(в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ,
с изм., внесенными Федеральным законом от 30.12.2004 N 211-ФЗ)

Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Статья 1. Предмет регулирования настоящего Федерального закона

Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые основы экономических отношений в сфере электроэнергетики, определяет полномочия органов государственной власти на регулирование этих отношений, основные права и обязанности субъектов электроэнергетики при осуществлении деятельности в сфере электроэнергетики (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии) и потребления электрической и тепловой энергии.

Статья 2. Законодательство Российской Федерации об электроэнергетике

Законодательство Российской Федерации об электроэнергетике основывается на Конституции Российской Федерации и состоит из гражданского кодекса Российской Федерации, настоящего Федерального закона и иных регулирующих отношений в сфере электроэнергетики федеральных законов, а также указов Президента Российской Федерации и постановлений Правительства Российской Федерации, принимаемых в соответствии с указанными федеральными законами.

Статья 3. Определение основных понятий

Для целей настоящего Федерального закона используются следующие основные понятия:

электроэнергетика - отрасль экономики Российской Федерации, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии и использования производственных и иных материальных объектов (в том числе входящих в Единую энергетическую систему России), принадлежащих на праве собственности или на ином предусмотренном федеральными законами основании субъектам электроэнергетики или иным лицам. Электроэнергетика является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения;

Единая энергетическая система России - совокупность производственных и иных материальных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии) и передачи электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике;

субъекты электроэнергетики - лица, осуществляющие деятельность в сфере электроэнергетики, в том числе производство электрической и тепловой энергии, поставки (продажу) электрической энергии, энергоснабжение потребителей, предоставление услуг по передаче электрической энергии, оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике, сбыт электрической энергии, организацию купли-продажи электрической энергии;

потребители электрической и тепловой энергии - лица, приобретающие электрическую и тепловую энергию для собственных бытовых и (или) производственных нужд;

отоплый рынок электрической энергии (нощности) (далее - оптовый рынок) - сфера обращения особого товара - электрической энергии (нощности) в рамках Единой энергетической системы России в границах единого экономического пространства Российской Федерации с участием крупных производителей и крупных покупателей электрической энергии, получивших статус субъекта оптового рынка и действующих на основе правил оптового

Функции Системного Оператора, требующие расчета электроэнергетических режимов

Расчеты установившихся режимов

Расчеты статической устойчивости

Расчеты динамической устойчивости

Расчеты токов короткого замыкания

Правила оперативно- диспетчерского управления в электроэнергетике, утвержденные ПП РФ от 27.12.2004 № 854

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ
от 27 декабря 2004 г. N 854

О УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

(в ред. Постановлений Правительства РФ от 06.05.2006 N 273,
от 31.08.2006 N 530, от 16.02.2008 N 86,
от 07.11.2008 N 820, от 03.03.2010 N 117,
от 11.08.2014 N 792, от 17.03.2016 N 206,
от 23.12.2016 N 1446, от 02.03.2017 N 244)

В соответствии со статьями 12 и 21 Федерального закона "Об электроэнергетике" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2003, N 13, ст. 1177) Правительство Российской Федерации постановляет:

1. Утвердить прилагаемые:
Правила оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике;
перечень технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем и соответствующих субъектов оперативно-диспетчерского управления.
(в ред. Постановления Правительства РФ от 06.05.2006 N 273)
2. Министерству промышленности и энергетики Российской Федерации утвердить в 3-месячный срок единые аттестационные требования к лицам, осуществляющим профессиональную деятельность, связанную с оперативно-диспетчерским управлением в электроэнергетике, и порядок аттестации лиц, осуществляющих эту деятельность.
3. Установить, что федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять контроль за системой оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике (в рамках федерального энергетического надзора), а также аттестацию лиц, осуществляющих профессиональную деятельность, связанную с оперативно-диспетчерским управлением в электроэнергетике, является Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору.
(п. 3 в ред. Постановления Правительства РФ от 02.03.2017 N 244)
4. Министерству промышленности и энергетики Российской Федерации совместно с Министерством экономического развития и торговли Российской Федерации и Федеральной антимонопольной службой при участии заинтересованных организаций в 3-месячный срок разработать и представить в установленном порядке в Правительство Российской Федерации проект акта Правительства Российской Федерации, определяющий перечень организаций, осуществляющих оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике, в том числе в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, их структуру и зоны диспетчерской ответственности.
5. Министерству промышленности и энергетики Российской Федерации совместно с Министерством экономического развития и торговли Российской Федерации и Федеральной антимонопольной службой при участии заинтересованных организаций в 6-месячный срок провести анализ эффективности функционирования системы оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике и при необходимости представить в Правительство Российской Федерации предложение по внесению изменений в Правила оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, утвержденные настоящим Постановлением.
6. Установить, что:
Правила оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, утвержденные настоящим Постановлением, вступают в силу с 15 мая 2006 г.;
абзац пятый пункта 3 указанных Правил действует до приобретения Российской Федерацией доли участия в уставном капитале системного оператора в размере не менее 52 процентов.
(п. 6 в ред. Постановления Правительства РФ от 06.05.2006 N 273)



Функции Системного оператора, требующие расчета электроэнергетических режимов

4

**Определение
допустимости
параметров режима**

**Оценка
выполнения
требований к
статической
устойчивости**

**Оценка
динамической
устойчивости
генерирующего
оборудования**

**Определение
параметров
настройки
устройств РЗА**

**Цель расчетов – определение допустимых режимов,
обеспечение надежного функционирования энергосистем**

- Участие в формировании и выдаче при присоединении субъектов электроэнергетики к единой национальной (общероссийской) электрической сети технологических требований, обеспечивающих их работу в составе Единой энергетической системы России
- Разработка и представление в уполномоченный федеральный орган исполнительной власти мероприятий, технологических схем и программ развития Единой энергетической системы России
- Согласование вывода из эксплуатации, также ввода в эксплуатацию объектов электросетевого хозяйства и объектов по производству электрической и тепловой энергии
- Планирование графиков ремонта основного оборудования электростанций, оборудования подстанций, устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики
- Проверка соответствия настройки устройств релейной защиты, сетевой и противоаварийной автоматики планируемым электроэнергетическим режимам энергосистемы и определение параметров указанных настроек
- Определение требований к местам размещения и объему ограничений потребления электрической энергии и мощности, вводимых для принятия неотложных мер по предотвращению или ликвидации аварий
- Определение допустимых значений передаваемой мощности и уровней напряжения

Основа расчетных задач – расчетные модели



- Расчетная модель и применяемые принципы моделирования ее элементов должны обеспечивать совпадение результатов расчетов с параметрами фактических электроэнергетических режимов
- Объем и структура расчетной модели должны предоставлять возможность моделирования аварийных возмущений и соответствующих послеаварийных режимов без изменения параметров моделей оборудования
- Расчетная модель должна содержать справочную информацию в объеме, необходимом для автоматизированной оценки допустимости режима
- Формирование расчетной модели должно осуществляться на основании информации, представленной собственниками оборудования



Основные виды расчетных моделей

6

Установившийся режим и статическая устойчивость

- Базовая топология и баланс
- Траектория утяжеления
- Контролируемые сечения

Оценка состояния

- Телетрическая информация
- Настроечные параметры

Переходные режимы и динамическая устойчивость

- Параметры генерирующего оборудования
- Регуляторы скорости вращения и системы возбуждения

Токи короткого замыкания

- Параметры прямой, обратной и нулевой последовательности
- Учет взаимоиנדукции



Структура расчетной модели УР (СУ)

7

Топология сети
Параметры
электросетевого
оборудования

Информация
собственников

Балансы
Объём генерации
Мощность потребления

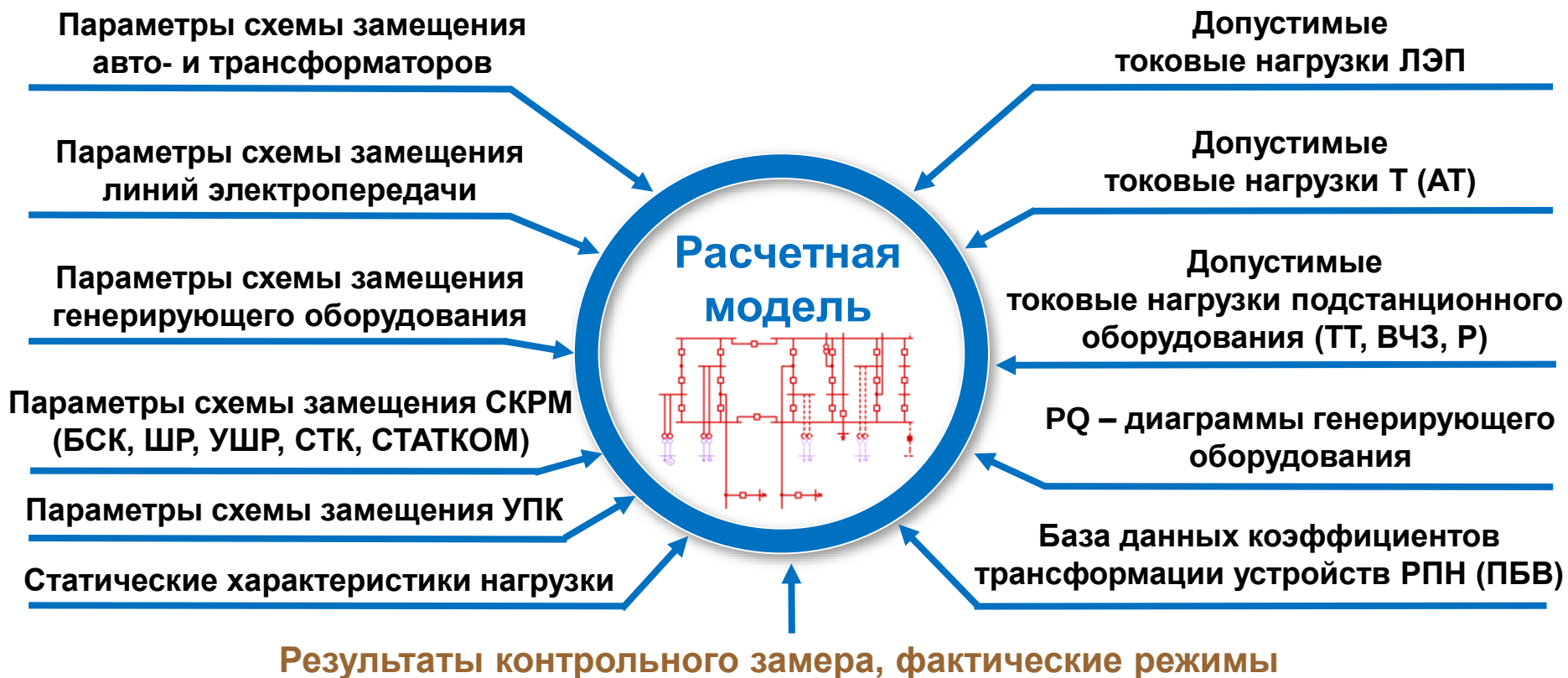
Контрольный замер,
расчетный режим

Справочная информация
Допустимые токовые
нагрузки

Информация
собственников,
расчетные значения



РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ



Информация используемая для формирования расчетной модели, предоставляется субъектами электроэнергетики в соответствии с [Приказом Минэнерго России от 23 июля 2012 г № 340 «Об утверждении перечня предоставляемой субъектами электроэнергетики информации, форм и порядка ее предоставления»](#)

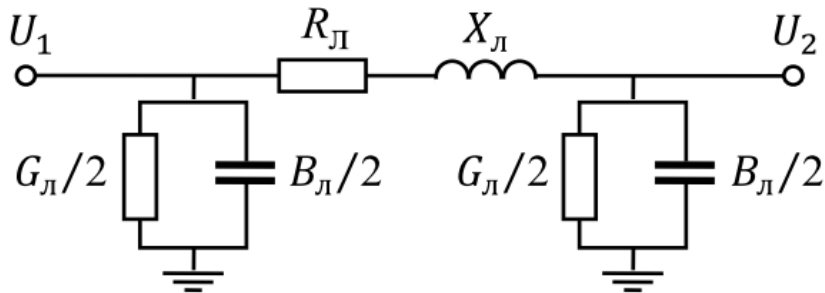




Параметры расчетной модели. Схема замещения линии электропередачи – 1

9

П – образная схема замещения ВЛ



Активное сопротивление ВЛ

$$R_L = R_0 \cdot \frac{l}{n}$$

Индуктивное сопротивление ВЛ

$$X_L = X_0 \cdot \frac{l}{n}$$

Активная проводимость ВЛ

$$B_L = B_0 \cdot l \cdot n$$

Емкостная проводимость ВЛ

$$G_L = G_0 \cdot l \cdot n$$

Зависимость R_0 от температуры

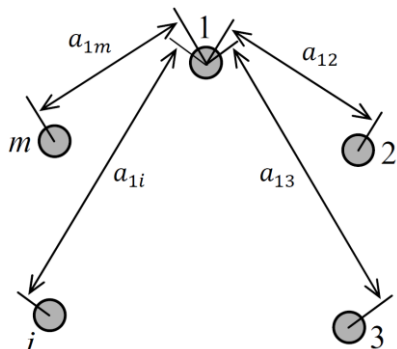
$$R_{0,t} = R_{0,20^\circ} [1 + 0,004 (t - 20^\circ)]$$

X_0 с учетом расположения фаз на опоре

$$X_0 = 0,1445 \lg \frac{D_{cp}}{r_g} + \frac{0,0157}{m}$$

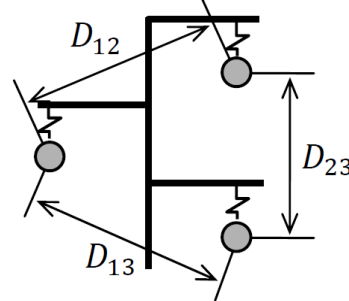
где $D_{cp} = \sqrt[3]{D_{12} D_{13} D_{23}}$

$$r_g = \sqrt[m]{r \prod_{i=2}^m a_{1i}}$$

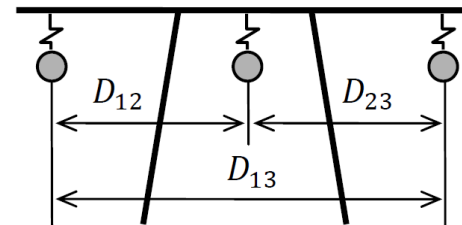


Расположение проводов при
расщеплении фазы ЛЭП

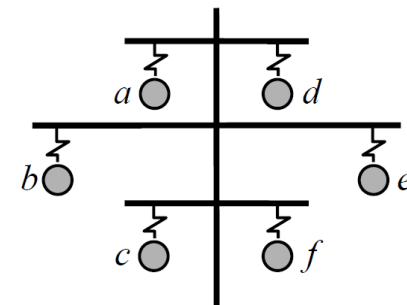
Расположение проводов воздушных ЛЭП на опорах



Треугольное



Горизонтальное



Двухцепная линия

Активная проводимость проводов с учетом величины потерь на корону

$$G_0 = \frac{\Delta P_{к.о}}{U_{ном}^2}$$

Емкостная проводимость ВЛ с учетом токов смещения электростатического поля

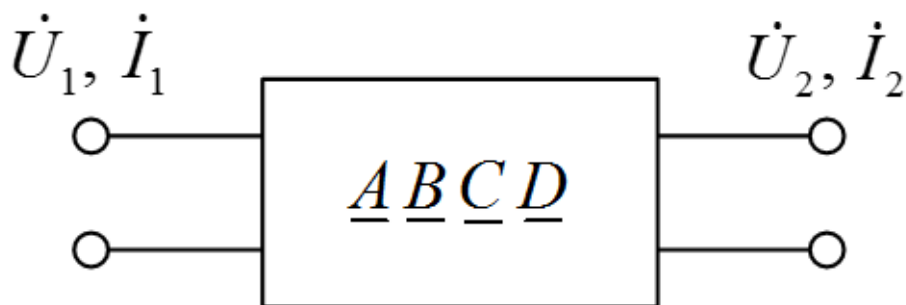
$$B_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_g}} \cdot 10^{-6}$$



Параметры расчетной модели. Схема замещения линии электропередачи – 2

10

Схема четырехполюсника



для реальной линии

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= ch\underline{\gamma}_0 L & \underline{B} &= \underline{Z}_B sh\underline{\gamma}_0 L \\ \underline{C} &= \frac{1}{\underline{Z}_B} sh\underline{\gamma}_0 L & \underline{D} &= ch\underline{\gamma}_0 L \end{aligned} \right\}$$

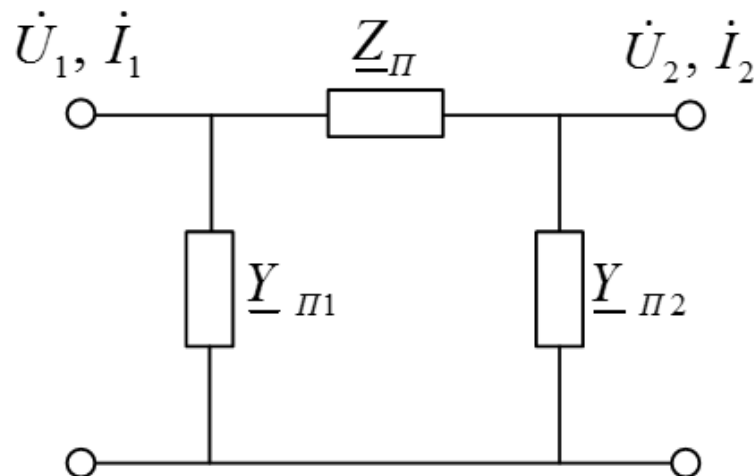
для идеализированной линии

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= \cos \lambda & \underline{B} &= j\underline{Z}_B \sin \lambda \\ \underline{C} &= j \frac{1}{\underline{Z}_B} \sin \lambda & \underline{D} &= \cos \lambda \end{aligned} \right\}$$

Уравнения линии электропередачи,
связывающие параметры режима по её концам

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 ch\underline{\gamma}_0 L + \dot{I}_2 \underline{Z}_B sh\underline{\gamma}_0 L \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 ch\underline{\gamma}_0 L + \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_B} sh\underline{\gamma}_0 L \\ \dot{U}_1 &= \underline{A} \dot{U}_2 + \underline{B} \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= \underline{C} \dot{U}_2 + \underline{D} \dot{I}_2 \end{aligned} \right\}$$

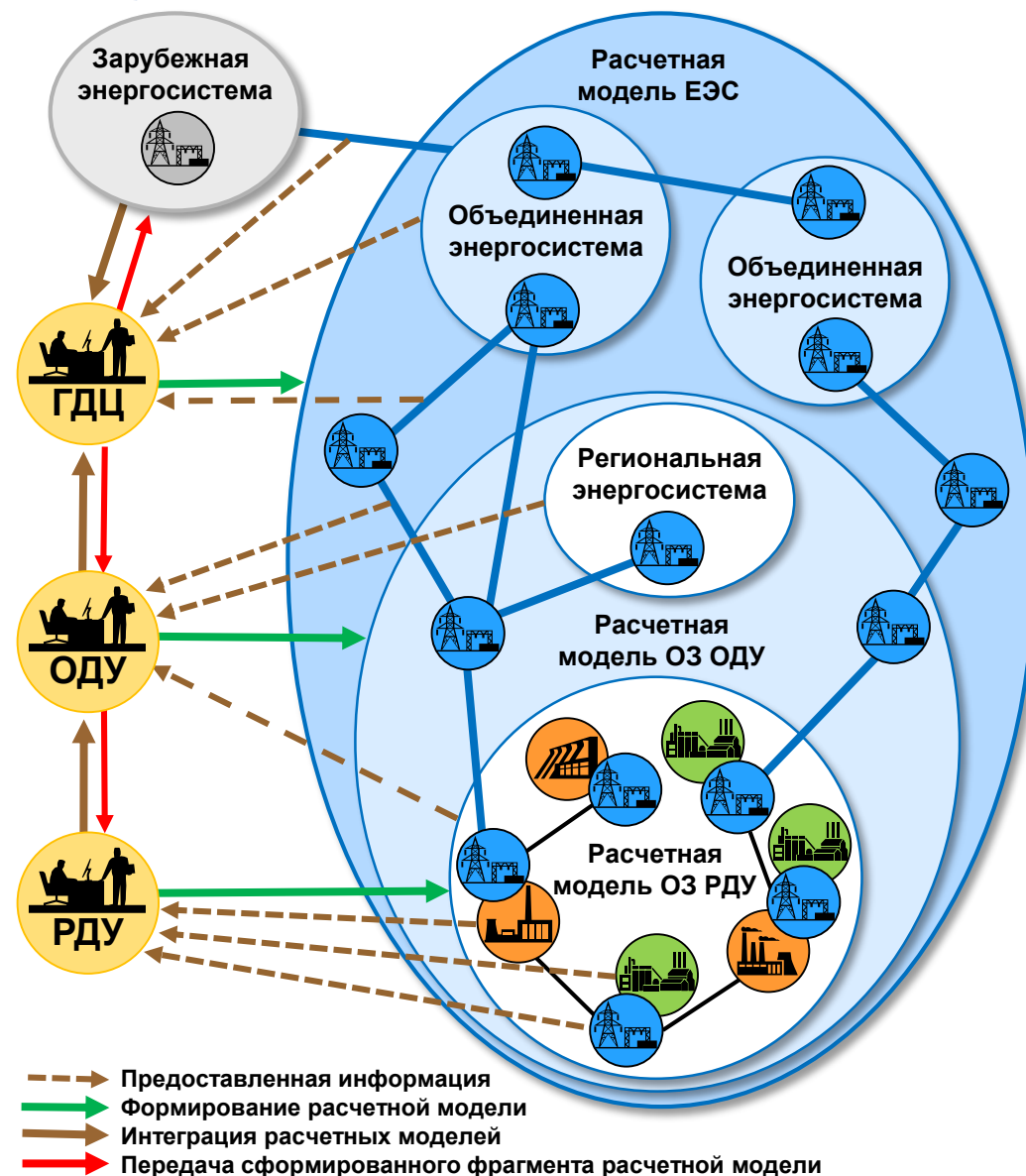
П – образная схема замещения ВЛ





Формирование расчетной модели УР (СУ)

11



Главный диспетчерский центр:

- Получение и анализ информации от зарубежных энергосистем
- Получение и анализ информации от субъектов электроэнергетики
- Формирование РМ ЕЭС на основе РМ ОДУ
- Интеграция РМ зарубежных энергосистем
- Верификация расчетной модели

Объединенное диспетчерское управление:

- Получение и анализ информации от субъектов электроэнергетики
- Формирование РМ ОДУ на основе РМ РДУ
- Формирование внешнего эквивалента РМ ЕЭС
- Верификация расчетной модели

Региональное диспетчерское управление:

- Получение и анализ информации от субъектов электроэнергетики
- Анализ предоставленной информации
- Формирование РМ РДУ
- Формирование внешнего эквивалента РМ ОДУ
- Верификация расчетной модели

В каждом диспетчерском центре используется собственная верифицированная расчетная модель для расчета установившихся режимов и статической устойчивости



Расчеты УР (СУ).

Задачи и область применения

12

Цель: определение области допустимых режимов работы энергосистем, логики действия и настройки устройств ПА

Используемая информация:

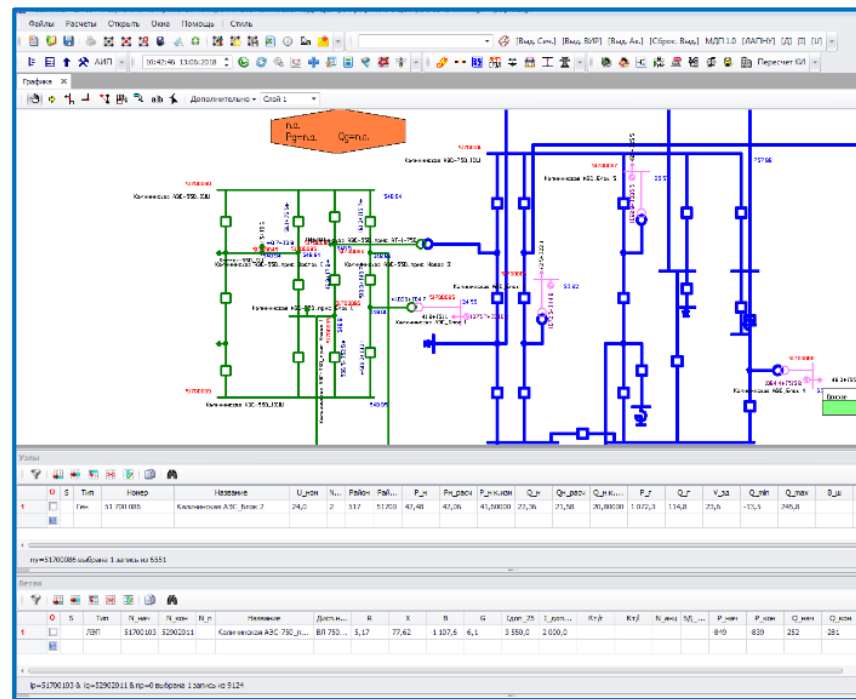
- данные собственников
- балансовые условия

Реализация:

- ПК «RastrWin3»

Задачи:

- Расчет и определение области допустимых режимов
- Определение максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков в контролируемых сечениях
- Определение токовой загрузки оборудования
- Определение контрольных пунктов по напряжению и графиков напряжения в них

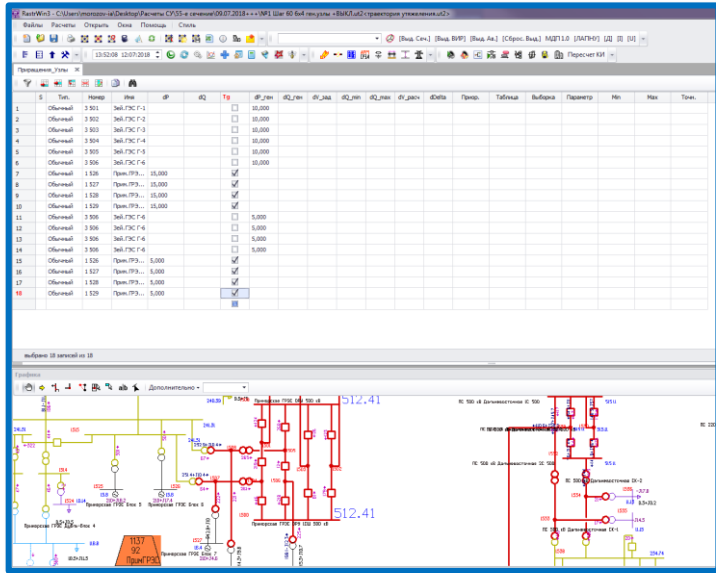




Расчет установившихся режимов и статической устойчивости. Область применения

13

- Определение допустимых параметров электроэнергетического режима
- Определение максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях
- Определение логики действия и настройки устройств противоаварийной автоматики
- Определение эффективности реализации управляющих воздействий при управлении электроэнергетическим режимом
- Определение контрольных пунктов по напряжению и графиков напряжения в них
- Расчет сетевых коэффициентов для оценки чувствительности результатов расчета к изменению исходных данных
- Формирование агрегированной информации



```

1 ' для каждого генератора задается
2 g_arndelta = ARRAY( 0 ) ' номера генераторов для которых упол
3 g_arndeltaInitAngleRad = ARRAY( 0 ) ' градусы, начальные значения углов
4 g_arndeltaInitAngleRad = ARRAY( 1 ) ' градусы, угол поворота НСГ генератора на каждой итерации
5 g_Multiplier = 750 ' множ-е итераций
6
7
8
9
10
11
12
13 shbName = "shbmain.prj"
14 BasterPath = Baster.CmdCommandMain ( COMD_CHOPATE, a, s, s )
15 IF (IsObjExist(RevVal) = TRUE) THEN
16     BasterPath = "C:\projects\Files\shb"
17     BasterPath = "C:\projects\Files\shb"
18 END IF
19
20 g_RodeName = ARRAY( 1 )
21
22 PathToShbMainEXE = BasterPath + "\SHBMAIN\SHBMAIN.exe"
23 PathToShbMainCMD = BasterPath + "\SHBMAIN\Program.cmd"
24
25
26
27 Main ' точка входа
28
29 SUB Main
30     Baster.Load BG_REF1, "C:\projects\EXE\bg_delta\test\g_e_", ""
31     Baster.ClearControl ' очистить всевозможные временные значения
32     nBata = CheckSettings(i)
33     IF (nBata < 0) THEN
34         print "возникли ошибки в данных, расчет не будет"
35         EXIT SUB
36     END IF
37     'FOR Multiplier = 0 TO g_Multiplier
38     'FOR i = LBOUND(g_arndelta) TO UBOUND( g_arndelta)
39     Setp g_arndelta(i), g_arndeltaInitAngleRad(i) + Multiplier * g_arndeltaAngleRadRad(i)
40
41     NEXT
42     NEXT
43     NEXT
44 END SUB
45
46 FUNCTION CheckSettings()
47     CheckSettings = -1
48     Multiplier = UBOUND(g_arndelta) - LBOUND( g_arndelta) + 1
49     MultiplierAngle = UBOUND(g_arndeltaInitAngleRad) - LBOUND( g_arndeltaInitAngleRad) + 1
50     MultiplierAngleRad = UBOUND(g_arndeltaInitAngleRad) - LBOUND( g_arndeltaInitAngleRad) + 1
51     IF (Multiplier <= 0) THEN
52         print "не заданы номера генераторов"
53         EXIT FUNCTION
54     END IF
55     IF (Multiplier <= MultiplierAngle) THEN
56         print "не заданы все коды-номера генераторов коду-номера начальных углов"
57     END IF
58 END FUNCTION

```

Определение предельного режима

- Формирование траектории утяжеления
- Автоматическое утяжеление
- Получение последнего сбалансированного режима
- Определение предельного режима

Автоматизация расчетов

- **Формирование задания**
- **Задание серии расчетных режимов**
- **Проведение автоматических расчетов**
- **Получение результатов в заданном формате**
- **Анализ результатов расчета**



Оценивание состояния. Задачи и область применения

15

Цель: оперативные расчеты режимов энергосистем на основе телеметрической информации

Используемая телеметрическая информация:

- Текущая
- Ретроспективная

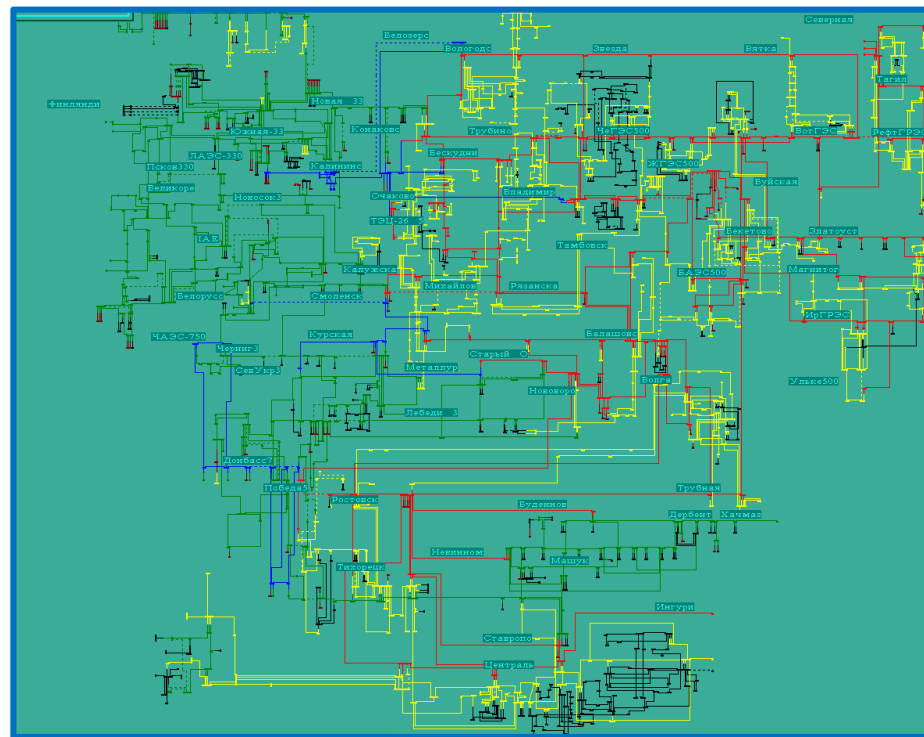
Реализация:

- ПК «КОСМОС»

Задачи:

- Проверка допустимости режима
- Проверка последствий воздействия на объект управления
- Определение достаточности и эффективности управления
- Предварительная оценка планируемых действий по управлению режимом

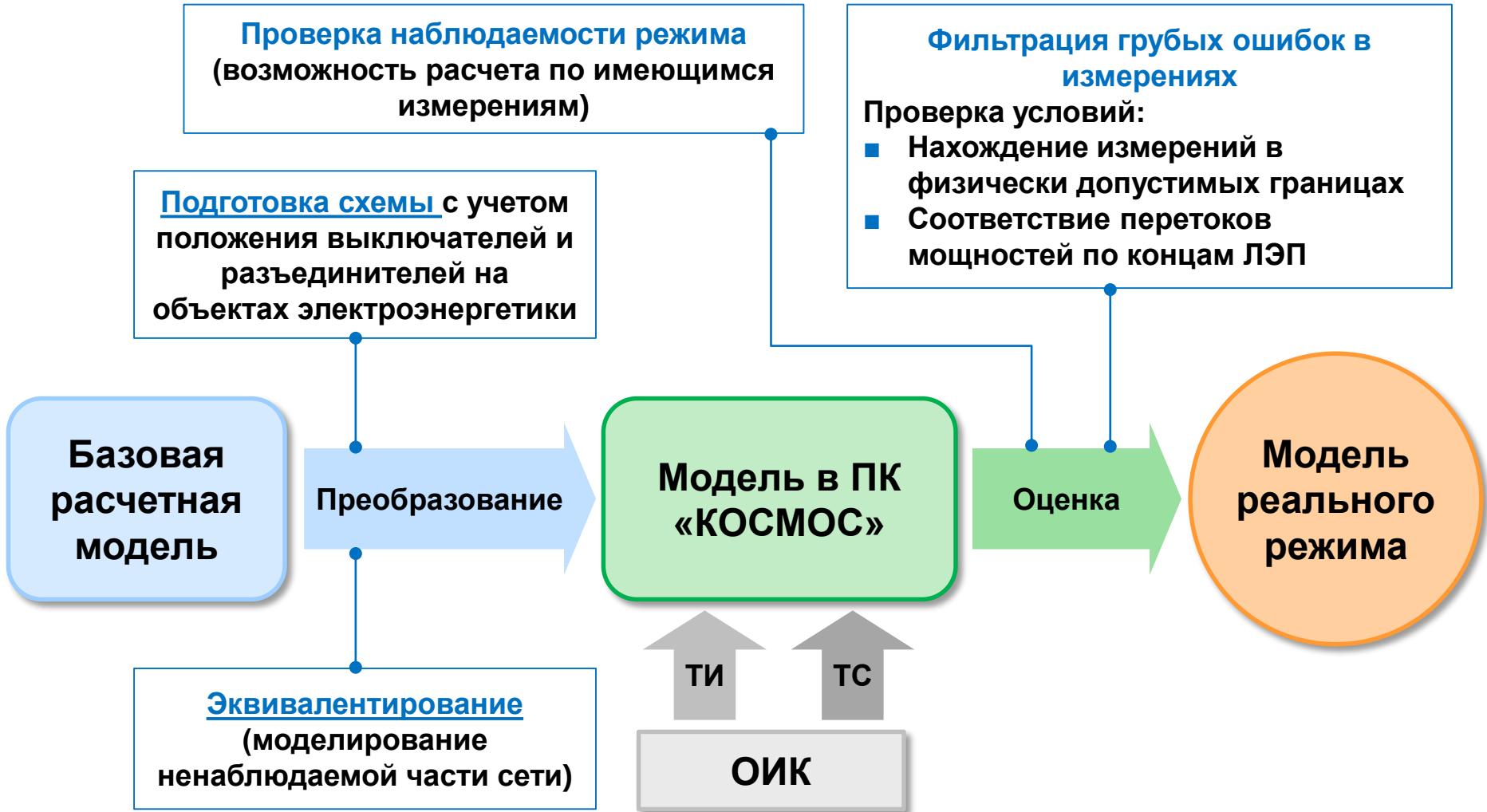
КОСМОС





Оценивание состояния. Расчетная модель

16



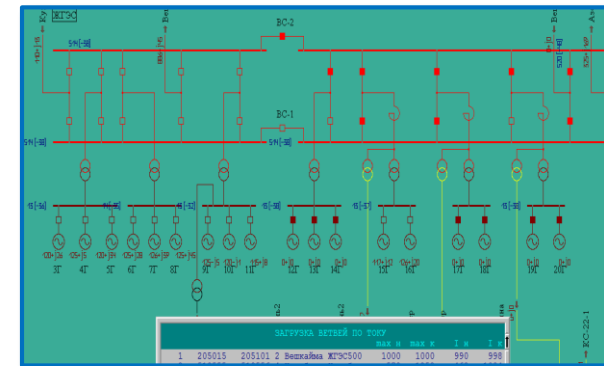
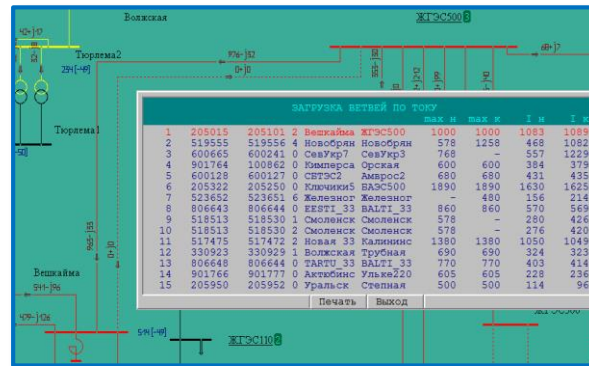
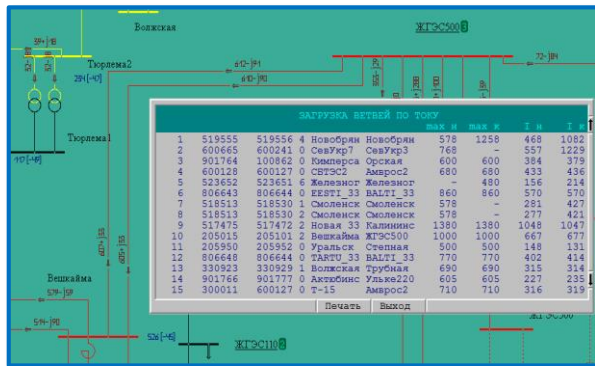
**Необходимость требуемого объема
качественной телеметрической информации**



Оценивание состояния. Практическое применение

17

Проверка возможности реализации диспетчерской заявки на вывод в ремонт ЛЭП



1

Выбор характерного режима (например, час начала планируемого ремонта предыдущего дня)

2

Моделирование отключения ЛЭП.
Проверка допустимости режима

3

При нарушении параметров режима определение мероприятия, обеспечивающих допустимость их значений (например, изменение нагрузки электростанции)



Расчеты ДУ.

Задачи и область применения

18

Цель: определение допустимой нагрузки электростанций, логики действия и настройки устройств ПА

Используемая информация:

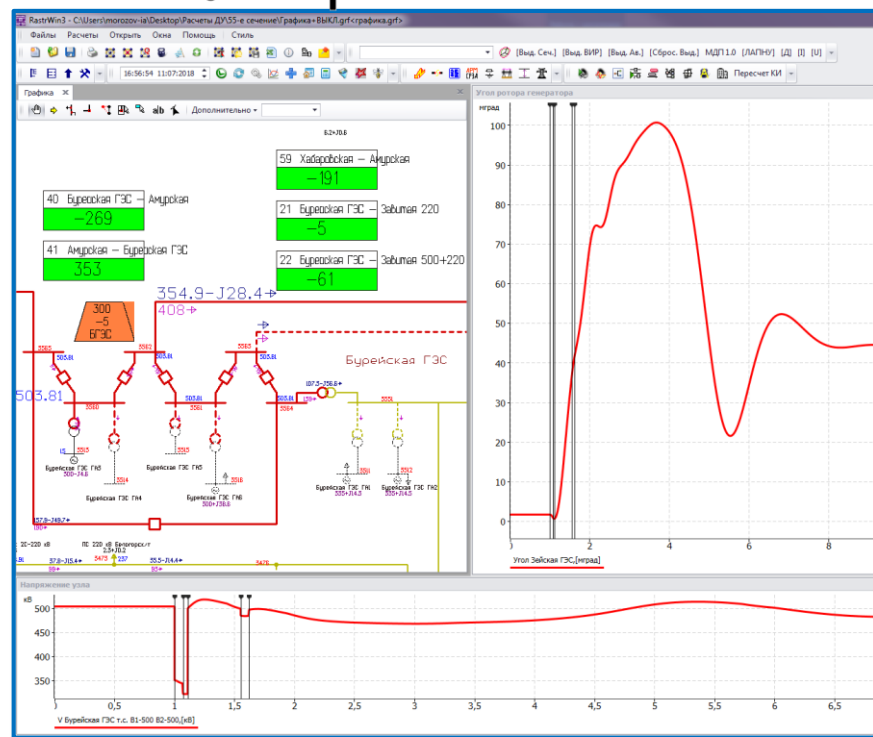
- характеристики устройств РЗА
- данные собственников

Реализация:

- ПК «RuStab»
- ПК «EuroStag»

Задачи:

- Определение предельного времени отключения КЗ
- Определение допустимых режимов работы генерирующего оборудования (электростанций)
- Определение допустимых перетоков в контролируемых сечениях
- Определение логики действия и настройки устройств ПА



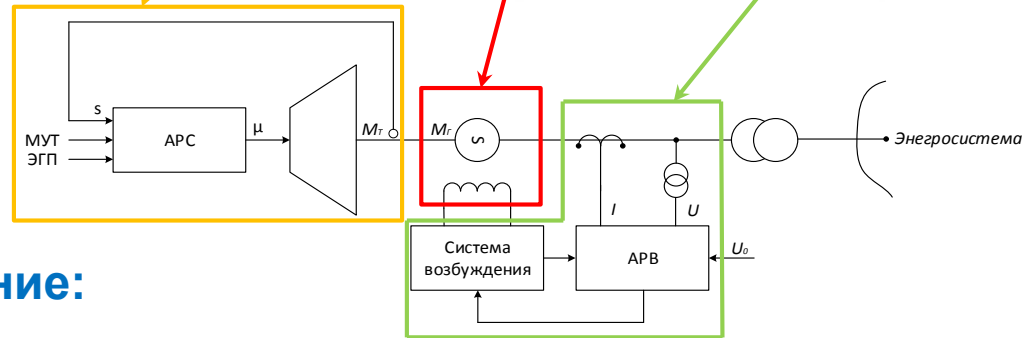
Расчеты электромеханических переходных процессов и ДУ необходимо выполнять с использованием современных программных комплексов расчета переходных режимов и ДУ, позволяющих обеспечить корректное моделирование процессов.



Расчетная модель ДУ. Состав и структура

19

Основа –
расчетная модель УР (СУ)



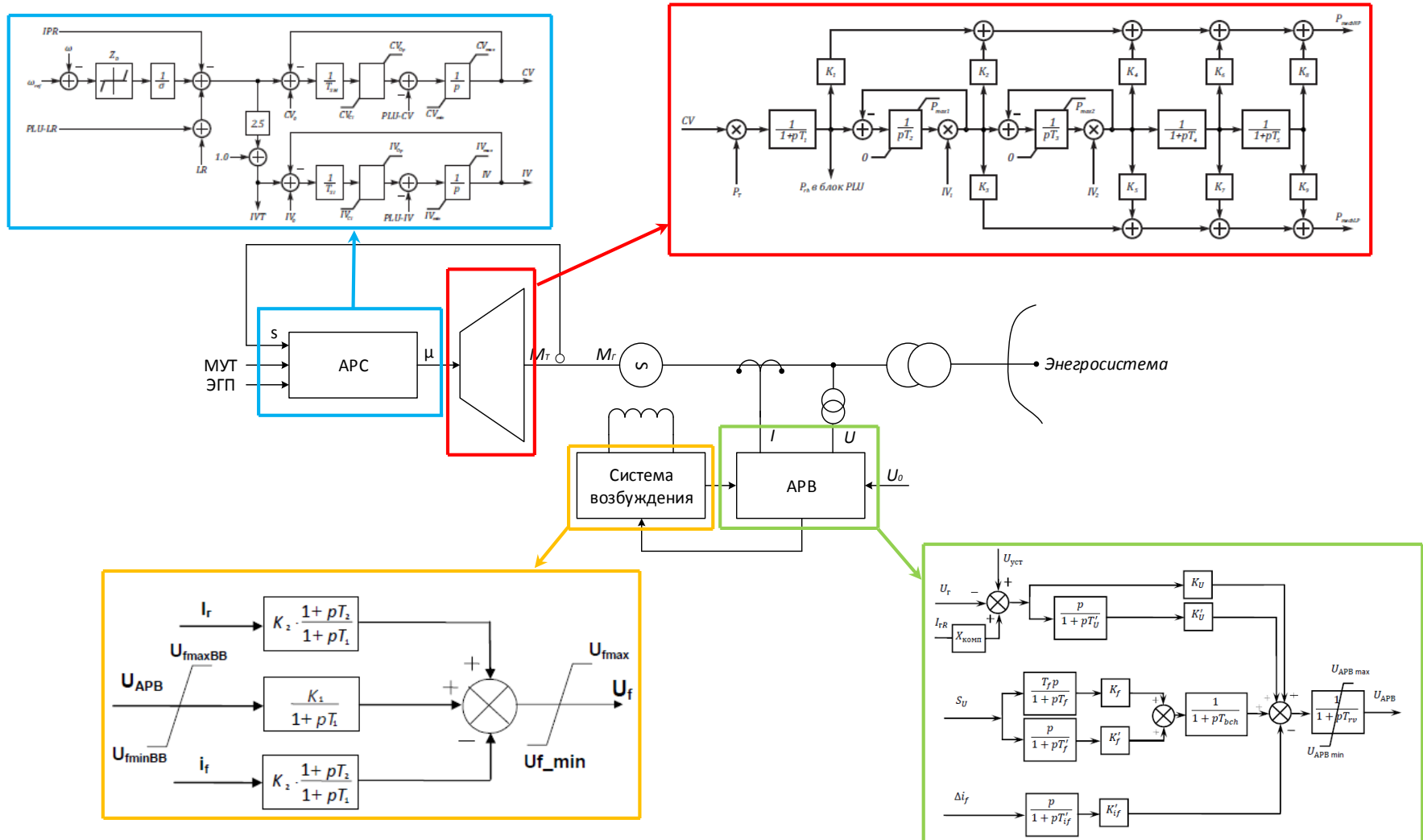
Дополнительное моделирование:

- генерирующее оборудование
- турбина
- регуляторы турбины (регуляторы скорости и др.)
- системы возбуждения
- регуляторы возбуждения
- динамические нагрузки



Расчетная модель ДУ. Особенности моделирования

20



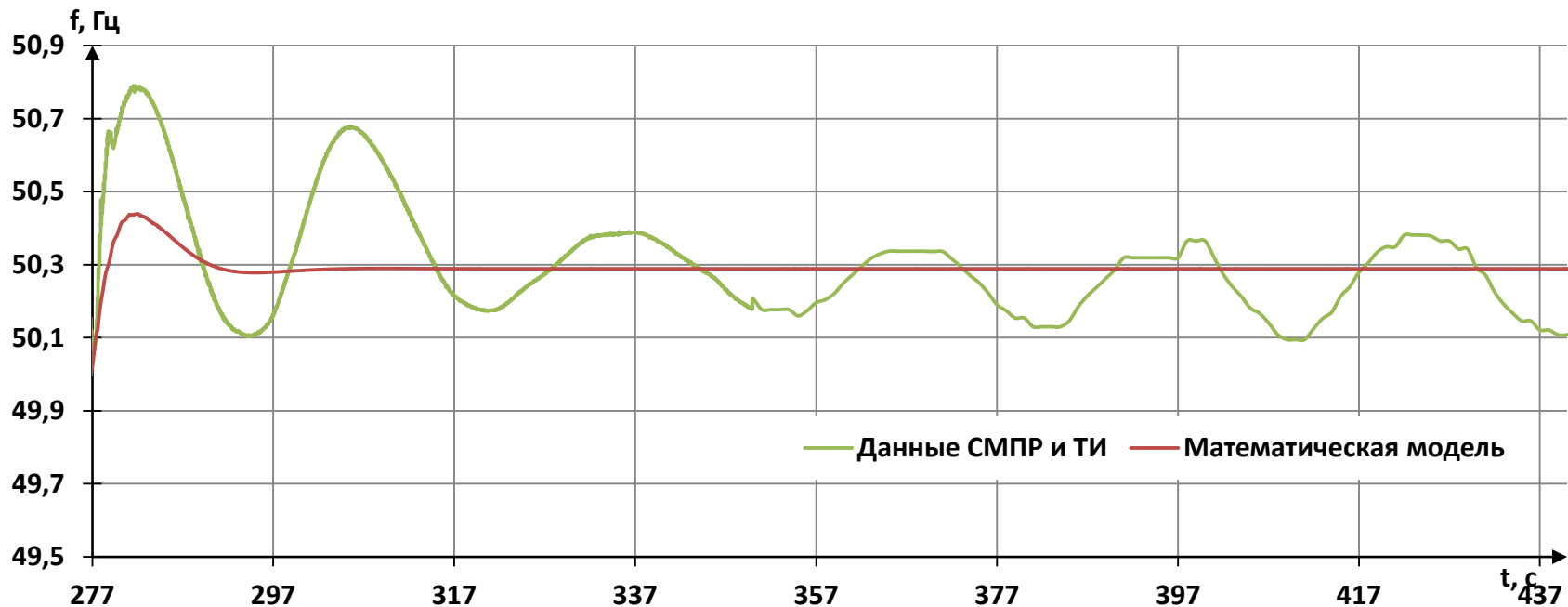
Требуются корректные верифицированные модели оборудования и устройств



Модели элементов энергосистем. Точность моделирования

21

Аварийное отключение ВЛ 330 кВ Мончегорск – Оленегорск с успешным ТАПВ



Фактический процесс – незатухающие колебания частоты.

Моделирование – отсутствие колебательного процесса.

Причина: некорректные модели генерирующего оборудования и регуляторов

Последствия:

- некорректное определение области допустимых режимов работы энергосистем
- риски развития аварийного процесса

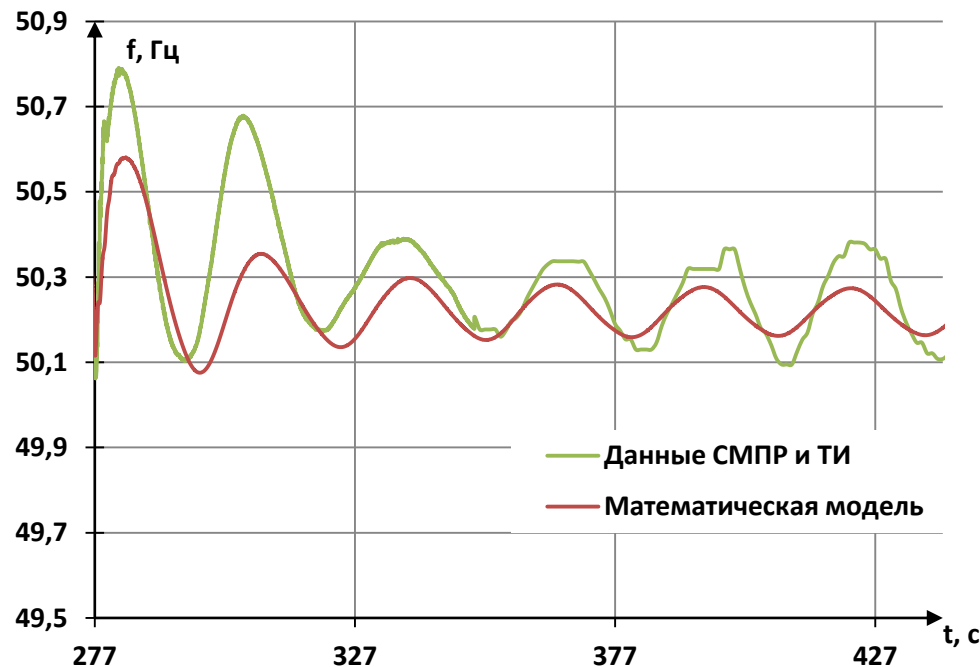


Модели элементов энергосистем. Точность моделирования

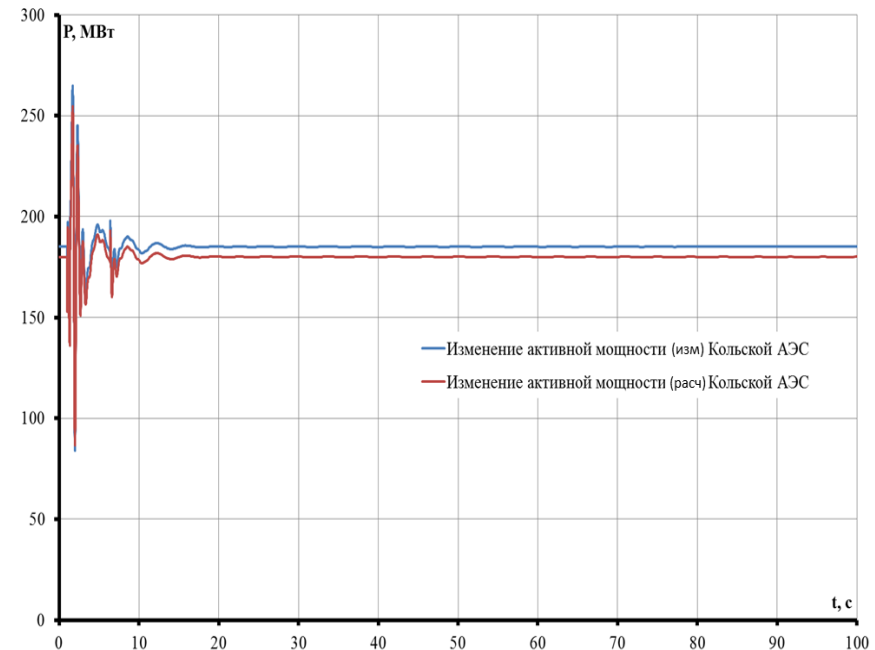
22

- Выполнена корректировка моделей генерирующего оборудования и регуляторов
- Выполнена верификация моделей

Однофазное КЗ на ВЛ 330 кВ Мончегорск – Оленегорск



**Модельный процесс соответствует
фактическому**



**Применение модели при проведении
исследований**



Требования к устойчивости. Нормативная документация

24



Главный документ: Методические указания по устойчивости энергосистем, утвержденные приказом Министерства РФ от 30 июня 2003 г. № 277

Методические указания по устойчивости энергосистем содержат технические требования к электроэнергетическим системам и их объединениям в отношении устойчивости

Методические указания устанавливают и определяют:

- Основные термины и определения в области устойчивости энергосистем
- Требования к устойчивости энергосистем
- Общие принципы и методологию определения области допустимых режимов работы энергосистем

Поддерживающий документ:

- Раскрытие требований
- Прикладное применение



Стандарт АО «СО ЕЭС» «Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра АО «СО ЕЭС», утвержденный приказом АО «СО ЕЭС» от 18 января 2013 г. №10



Схемы

Нормальные:

все сетевые элементы, определяющие устойчивость, находятся в работе

Ремонтные:

из-за отключенного состояния одного или нескольких элементов электрической сети или устройств ПА уменьшен МДП в сечении

Перетоки

Нормальные:

наибольший допустимый переток – максимально допустимый (МДП)

Вынужденные:

наибольший допустимый переток – аварийно допустимый (АДП)

Сечение

Полное:

совокупность сетевых элементов, отключение которых приводит к разделению энергосистемы на две изолированные части

Частичное:

совокупность сетевых элементов, отключение которых не приводит к разделению энергосистемы на две изолированные части

Область допустимых режимов работы энергосистем:

- МДП и АДП в контролируемых сечениях в нормальной и ремонтных схемах
- Токовая нагрузка оборудования
- Напряжения на шинах объектов электроэнергетики



Нормативные возмущения

26

Нормативные возмущения – наиболее тяжелые возмущения, которые учитываются в требованиях к устойчивости энергосистем

Возмущения	Группы нормативных возмущений в сетях с ном. напряжением, кВ:			
	110–220	330–500	750	1150
КЗ на сетевом элементе, кроме системы (секции) шин:				
Отключение сетевого элемента основными ¹ защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ (для сетей 330 кВ и выше – ОАПВ, 110–220 кВ – ТАПВ)	I	I	I	I
То же, но с неуспешным АПВ ²	I	I	I ³ , II	II
Отключение сетевого элемента основными защитами при трехфазном КЗ с успешным и неуспешным АПВ ²	II	–	–	–
Отключение сетевого элемента резервными защитами при однофазном КЗ с успешным и неуспешным АПВ ²	II	–	–	–
Отключение сетевого элемента основными защитами при двухфазном КЗ на землю с неуспешным АПВ ²	–	II	III	III
Отключение сетевого элемента действием УРОВ при однофазном КЗ с отказом одного выключателя ⁴	II	III	III	III
То же, но при двухфазном КЗ на землю	–	III	III	–
То же, но при трехфазном КЗ	III	–	–	–
КЗ на системе (секции) шин:				
Отключение СШ с однофазным КЗ, не связанное с разрывом связей между узлами сети	I	I	II	II
То же, но с разрывом связей	III	III	–	–

К нормативным возмущениям относятся:

Короткое замыкание (КЗ) с отключением элемента (-ов) сети

Скачкообразный аварийный небаланс активной мощности по любым причинам

Одновременное отключение двух ВЛ

Возмущение групп I и II с отключением элемента сети или генератора

¹ Или резервными защитами с не меньшим быстродействием.

² При обеспечении автоматического запрета АПВ в случае непогасания дуги неуспешное АПВ может не рассматриваться.

³ На связи АЭС с энергосистемой.

⁴ При этом учитываются отключения всех сетевых элементов (включая СШ), связанных с отключением смежных выключателей.



- По условиям устойчивости энергосистем нормируются минимальные коэффициенты запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в сечениях и по напряжению в узлах нагрузки
- Устанавливаются группы возмущений, при которых должны обеспечиваться динамическая устойчивость и нормируемые коэффициенты запаса статической устойчивости в послеаварийных режимах
- Должны обеспечиваться допустимые токовые нагрузки (перегрузки с учетом допустимой длительности) оборудования в текущем и послеаварийных режимах

Режим, переток в сечении	Минимальные коэффициенты запаса по активной мощности	Минимальные коэффициенты запаса по напряжению	Группы возмущений, при которых должна обеспечиваться устойчивость энергосистемы:	
			в нормальной схеме	в ремонтной схеме
Нормальный	0,20	0,15	I, II, III	I, II
Утяжеленный	0,20	0,15	I, II	I
Вынужденный	0,08	0,10	-	-



1. Коэффициент запаса статической апериодической устойчивости по активной мощности в нормальном режиме – **не менее 20%**
2. Коэффициент запаса устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальном режиме – **не менее 15%**
3. Коэффициент запаса статической апериодической устойчивости по активной мощности в послеаварийных режимах после нормативных возмущений – **не менее 8%**
4. Коэффициент запаса устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в послеаварийных режимах после нормативных возмущений – **не менее 10%**
5. Обеспечение динамической устойчивости при нормативных возмущениях
6. Обеспечение допустимой токовой нагрузки ЛЭП и оборудования в нормальном и послеаварийных режимах после нормативных возмущений
7. Обеспечение допустимого отклонения частоты при отделении на изолированную работу





1. Коэффициент запаса статической апериодической устойчивости по активной мощности в нормальном режиме – **не менее 8%**
2. Коэффициенту запаса устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальном режиме – **не менее 10%**
3. Обеспечение допустимой токовой нагрузки ЛЭП и оборудования в нормальном режиме

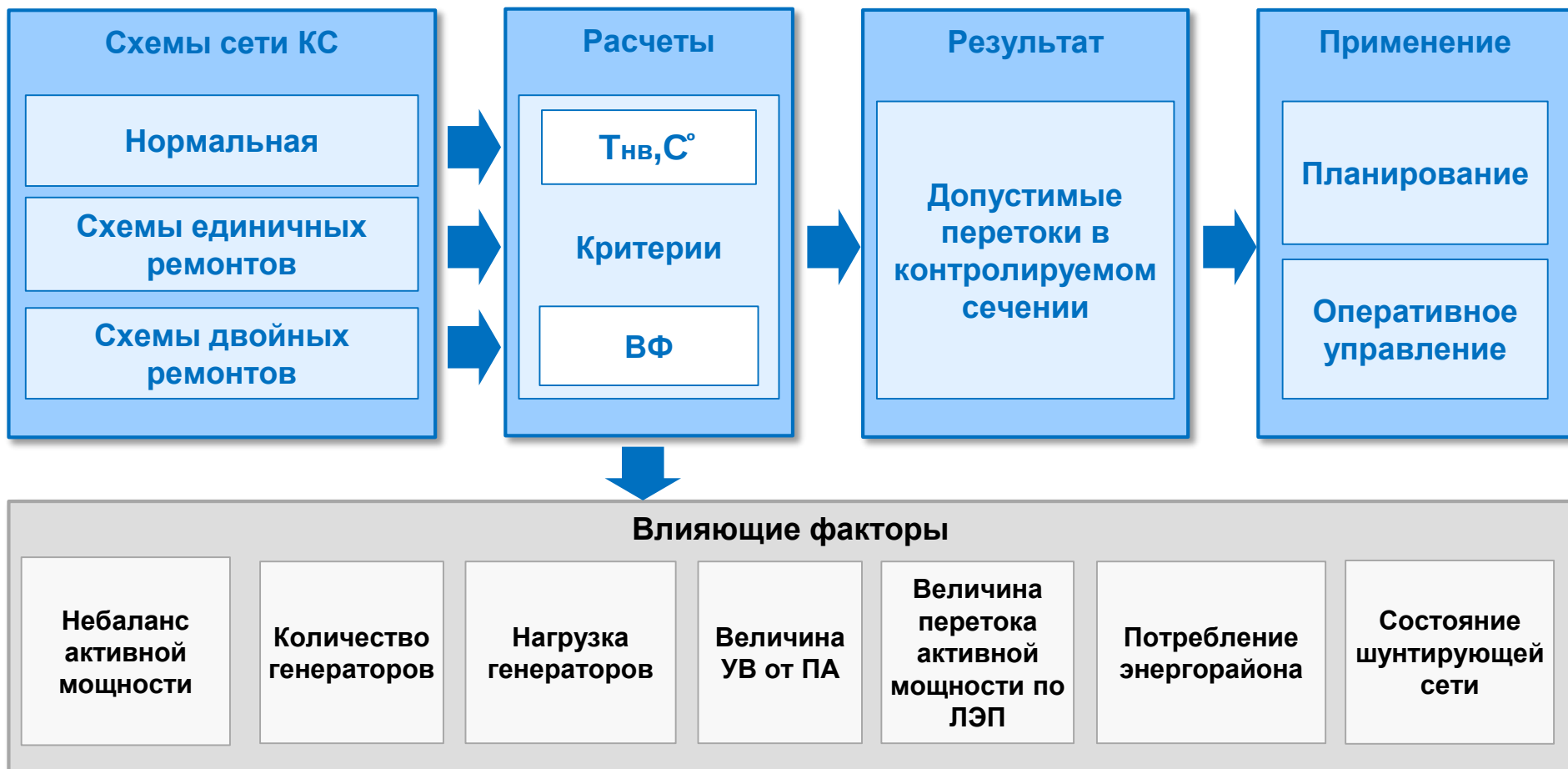




Определение МДП и АДП

30

Для каждого контролируемого сечения в каждой схеме сети проводятся исследования и учет влияющих на МДП и АДП факторов





Допустимые перетоки в контролируемом сечении

31

Допустимые перетоки в контролируемом сечении включены в состав Положения по управлению режимами ЕЭС

№ п/п	Схема сети	ТНВ, °С	МДП без ПА, МВт	АДП, МВт	Критерий определения допустимых перетоков		Необходимость дополнительного контроля	
					МДП без ПА, МВт	АДП, МВт	МДП без ПА, МВт	АДП, МВт
1	Нормальная схема	≤25	Min: 5150+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 9100-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 6450	5950+0,5×P ₂₂₀ +0,75×P ₅₀₀	20% Р исходная схема; АДТН ВЛ 500 кВ Конаковская ГРЭС – Белый Раст ПАР ВЛ 750 кВ Опытная – Белый Раст; АДТН ВЛ 500 кВ Белый Раст – Западная ПАР КВЛ 500 кВ Белый Раст – Бескудниково	8% Р исходная схема		
30	Min: 5150+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 8450-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 6450							
35	Min: 5150+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 7800-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 6450							
40	Min: 5150+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 7000-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 6450							
В ремонте один из сетевых элементов								
2.1.	В ремонте ВЛ 750 кВ Белозерская – Ленинградская	≤30	Min: 4400+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 5950	5100+0,5×P ₂₂₀ +0,75×P ₅₀₀	20% Р исходная схема; АДТН ВЛ 500 кВ Конаковская ГРЭС – Белый Раст ПАР ВЛ 750 кВ Опытная – Белый Раст	8% Р исходная схема		
35	Min: 4400+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 5450							
40	Min: 4400+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 4900							
2.2.	В ремонте ВЛ 750 кВ Калининская АЭС – Белозерская	≤25	Min: 5000+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 9100-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 5650	5800+0,5×P ₂₂₀ +0,75×P ₅₀₀	20% Р исходная схема; АДТН ВЛ 500 кВ Конаковская ГРЭС – Белый Раст ПАР ВЛ 750 кВ Опытная – Белый Раст; АДТН ВЛ 500 кВ Белый Раст – Западная ПАР КВЛ 500 кВ Белый Раст – Бескудниково	8% Р исходная схема		
30	Min: 5000+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 8450-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 5650							
35	Min: 5000+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ; 7800-0,65×P ₂₂₀ -1,15×P ₅₀₀ ; 5650							
40	Min: 5000+0,45×P ₂₂₀ +0,65×P ₅₀₀ ;							



Система мониторинга запаса устойчивости

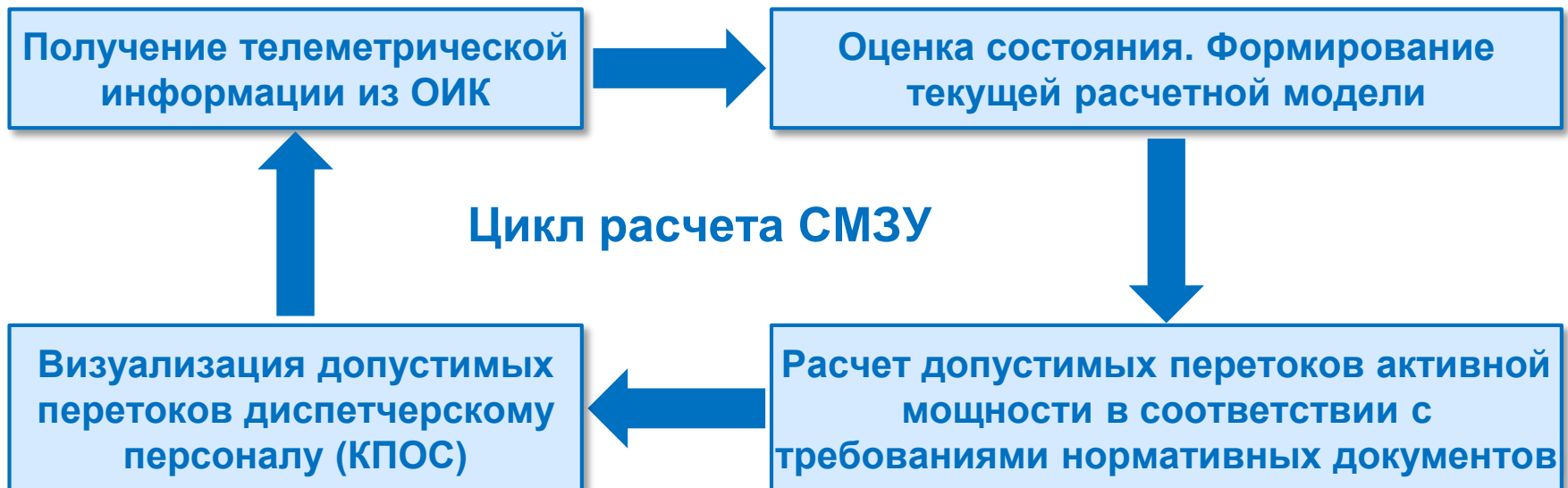
32

Используемая технология расчета определения МДП происходит **в режиме «off-line»** с использованием заранее подготовленных расчетных моделей

В 2013 году СО инициировало работу по созданию и внедрению системы мониторинга запаса устойчивости (**СМЗУ**)

СМЗУ обеспечивает определение МДП (АДП) **в режиме «on-line»** в полном соответствии с требованиями НТД на основании текущих условий функционирования энергосистем

СМЗУ позволяет осуществлять управление электроэнергетическим режимом с максимальным использованием пропускной способности сети в зависимости от текущих схемно-режимных и режимно-балансовых условий





Особенности СМЗУ:

- Непрерывная работа в циклическом режиме
- Возможность моделирования устройств ЛАПНУ, АОПО и АОСН
- Возможность расчета МДП в контролируемых сечениях с учетом критерия динамической устойчивости
- Расчет МДП в контролируемых сечениях с учетом принципа N-1
- Возможность получения режима как с учетом фактической, так и ретроспективной схемно-режимных и режимно-балансовых условий

**В промышленной
эксплуатации**



**3 ДЦ
8 сечений**

**Перспективы
на 2018–2019 г.**



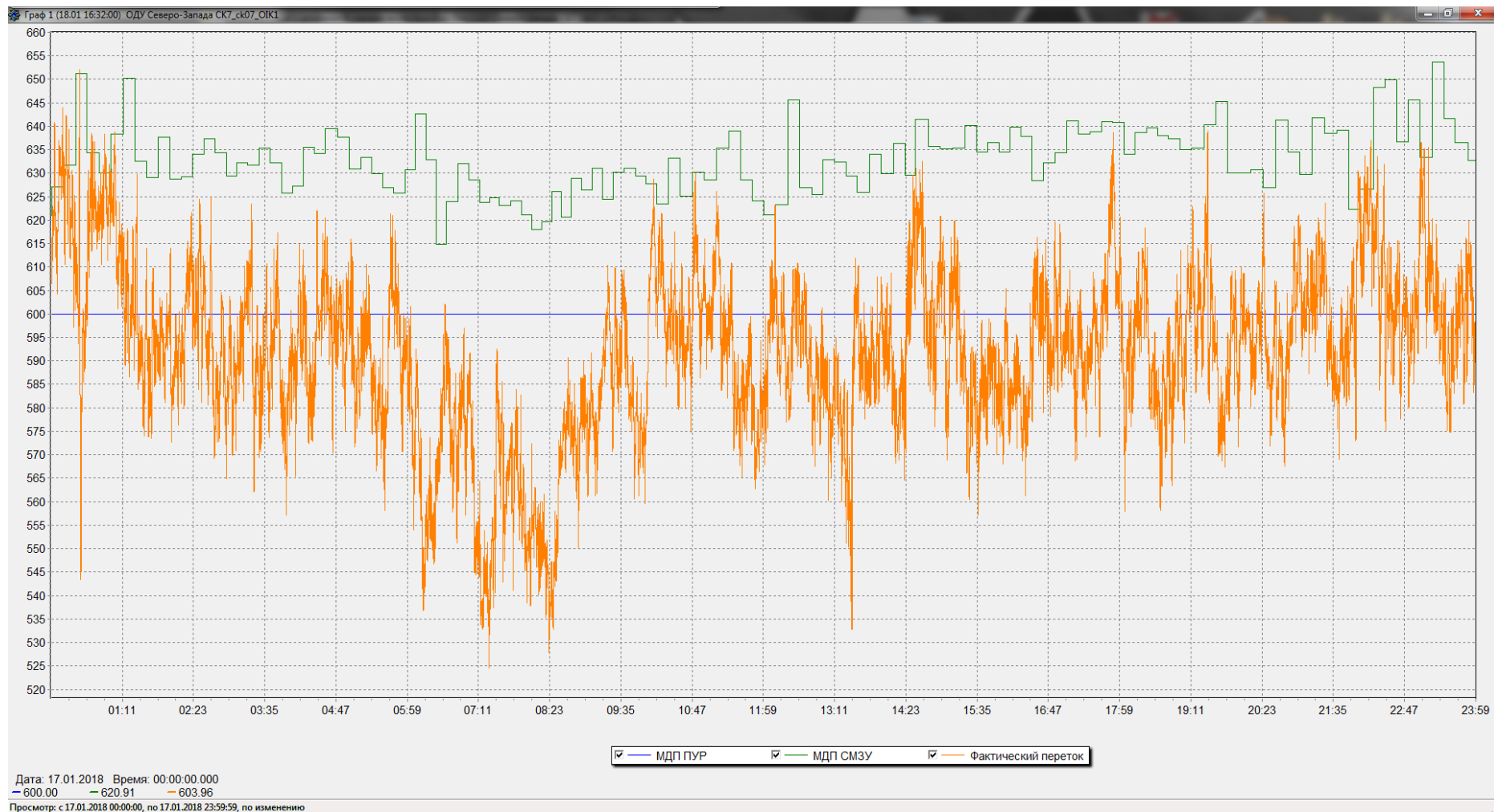
**5 ДЦ
16 сечений**



МЗУ ОЭС Северо-Запада. Контролируемое сечение Кола – Карелия

34

Контролируемое сечение «Кола – Карелия». 17.01.2018

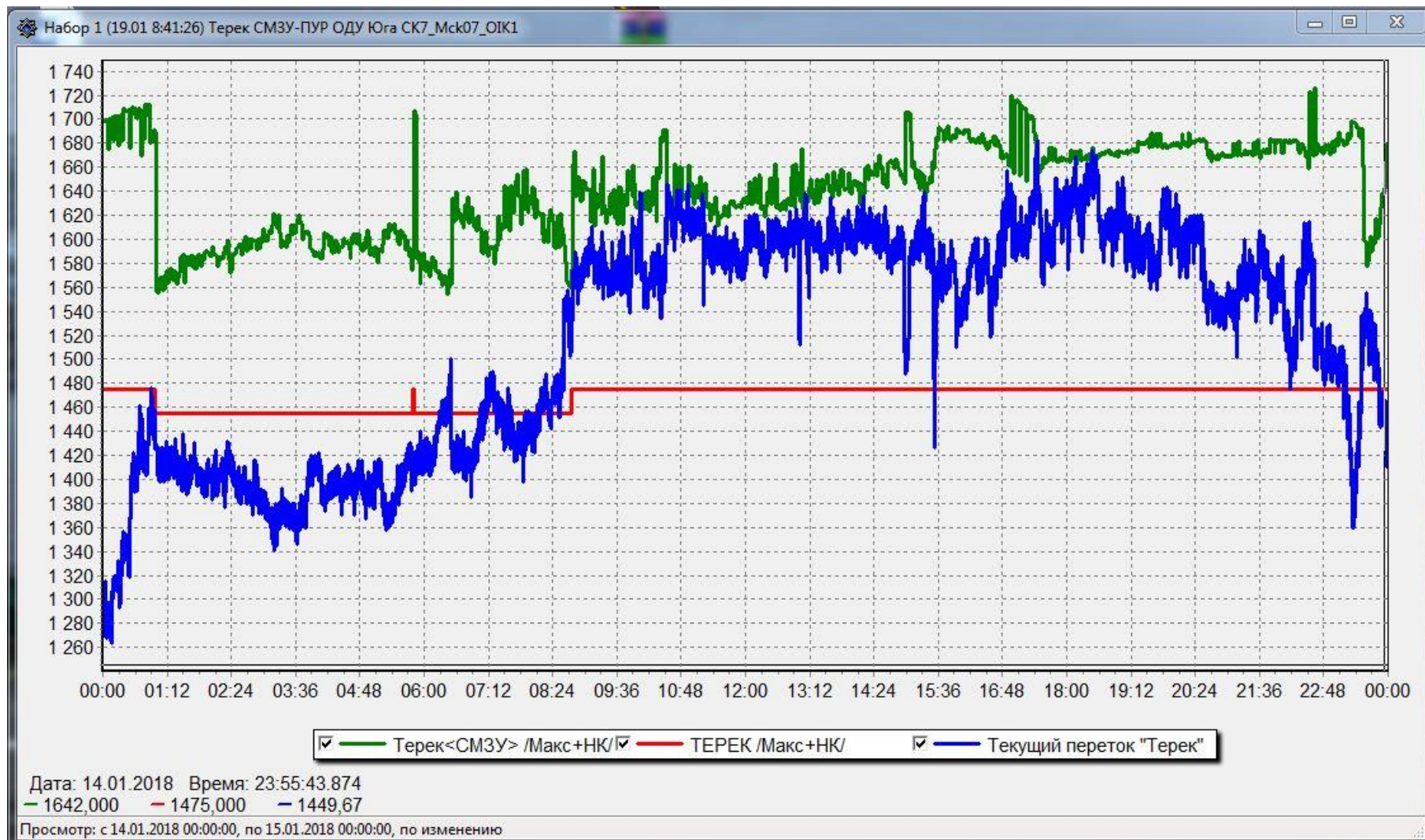




СМЗУ ОЭС Юга. Контролируемое сечение «Терек»

35

Контролируемое сечение «Терек». 14.01.2018

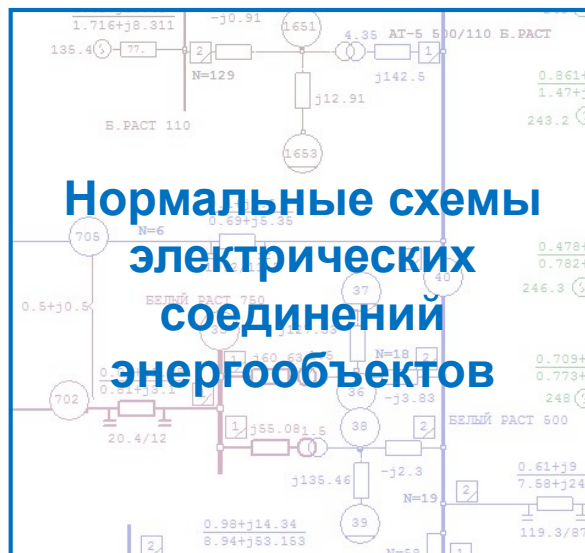




Математические модели для расчета параметров аварийных режимов и определения настройки устройств РЗА

36

**Математические модели сети
для расчета параметров аварийных режимов и выбора
параметров настройки устройств РЗА (ММС) формируются
в каждом диспетчерском центре**



ММС включает схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей



ММС используется для расчета параметров аварийных режимов, необходимых для:

- **определения параметров настройки и алгоритмов функционирования устройств РЗА**
- **анализа и оценки функционирования устройств РЗА при авариях**
- **выполнения проверочных расчетов при определении мест повреждения на ЛЭП**
- **мониторинга уровней токов КЗ**
- **определения и передачи субъектам электроэнергетики результатов расчетов токов короткого замыкания**
- **определения режимов заземления нейтралей силовых трансформаторов**



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Частота в ЕЭС, Гц

50,000

[О компании](#)

[Деятельность](#)

[Филиалы и представительства](#)

[Новости](#)

[Контакты и реквизиты](#)

[ЕЭС России](#)

www.so-ups.ru

Оперативная информация о работе ЕЭС России



Индикаторы ЕЭС

Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



План генерации и потребления



Новости Системного оператора

02.09.2016 14:54

Потребление электроэнергии в ЕЭС России в августе 2016 года увеличилось на 2,9 % по сравнению с августом 2015 года.
Электростанции ЕЭС России выработали 79,7 млрд кВт·ч, что на 3,2 % больше, чем в августе 2015 года.

01.09.2016 12:16

Введен в действие новый национальный стандарт в области релейной защиты и автоматики
1 сентября введен в действие национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 56865-2016 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Релейная защита и автоматика. Технический учет и анализ функционирования. Общие требования».

30.08.2016 15:09

В Новоуральске прошел VI Межрегиональный летний образовательный форум «Энергия молодости»

С 23 по 27 августа 2016 года в Новоуральске (Свердловская область) прошел VI Межрегиональный летний образовательный форум «Энергия молодости», в числе организаторов которого Благотворительный фонд «Надежная смена» и АО «Системный оператор Единой энергетической системы».

29.08.2016

Системный оператор представил актуальные исследования и разработки в сфере управления энергосистемами на 46-й Сессии СИГРЭ в Париже

Три из представленных докладов были полностью подготовлены специалистами АО «СО ЕЭС», четыре – в соавторстве с сотрудниками российских вузов, научных организаций и электроэнергетических компаний.

29.08.2016 07:48

К 95-летию оперативно-диспетчерского управления. Часть 7. 1960-е годы. Новые технологии

САЙТ
КОНКУРЕНТНОГО
ОТБОРА МОЩНОСТИ

САЙТ ОПТОВОГО РЫНКА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
И МОЩНОСТИ

ТЕХНОЛОГИЯ
ЦЕНОЗАВИСИМОГО
ПОТРЕБЛЕНИЯ

ТК / МТК
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

СИСТЕМА
ДОБРОВОЛЬНОЙ
СЕРТИФИКАЦИИ

ВАКАНСИИ

ДОСКА ПОЧЕТА
АО «СО ЕЭС»