

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Русов В.А., ООО «DIMRUS», Пермь
rusov@dimrus.ru

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Системы непрерывного и периодического диагностического мониторинга (СД) предназначены для решения трех задач управления эксплуатацией оборудования:

1. Практическое внедрение системы обслуживания высоковольтного оборудования по техническому состоянию (ТС). Благодаря наличию экспертных систем большинство СД позволяют оперативно в автоматическом режиме формировать стратегию управления сервисом и ремонтами оборудования.

2. Прогнозирование изменения параметров состояния оборудования. Знание тенденций позволяет персоналу оптимально формировать планы и графики проведения ремонтных и сервисных работ, проводя их в нужные сроки и в необходимом и достаточном объеме.

3. Проведение комплексной оценки состояния оборудования в единой технологической цепи (транзит) энергетического предприятия. Формировать графики и объемы проведения ремонтных работ исходя из принципа устранения «слабого звена» транзита.

Две первые задачи использования СДМ являются локальными, а последняя – обобщенной, учитывающей состояние всего комплекса оборудования транзита.

ВЫБОР И НОРМИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Эффективность работы СД во многом зависит от того, насколько корректно будет сформирован набор диагностических параметров, контролируемых системой мониторинга, и от того, насколько правильно сформированы для них пороги и критерии состояния.

Первичные параметры для системы мониторинга

Конструктивные параметры оборудования, обычно задаваемые для режима «off-line»

Эксплуатационные критерии, зависящие от конкретных условий эксплуатации

Синтезированные и комплексные параметры, описывающие состояние целых подсистем

Способы нормирования первичных параметров СД

По данным производителя контролируемого оборудования

На основании эксплуатационной документации предприятия

Адаптивная настройка пороговых значений, определяемая на основе опыта эксплуатации

Целый ряд параметров и критериев, активно используемых при оценке состояния оборудования в режиме «off-line», не могут быть применены для систем мониторинга в режиме «on-line», или их значения, полученные при периодических испытаниях, отличаются от значений в рабочих режимах работы оборудования.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПАРАМЕТР ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИАГНОСТИКИ

Критические параметры технического состояния контролируемого оборудования (измеренные и расчетные), непосредственно определяющие возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

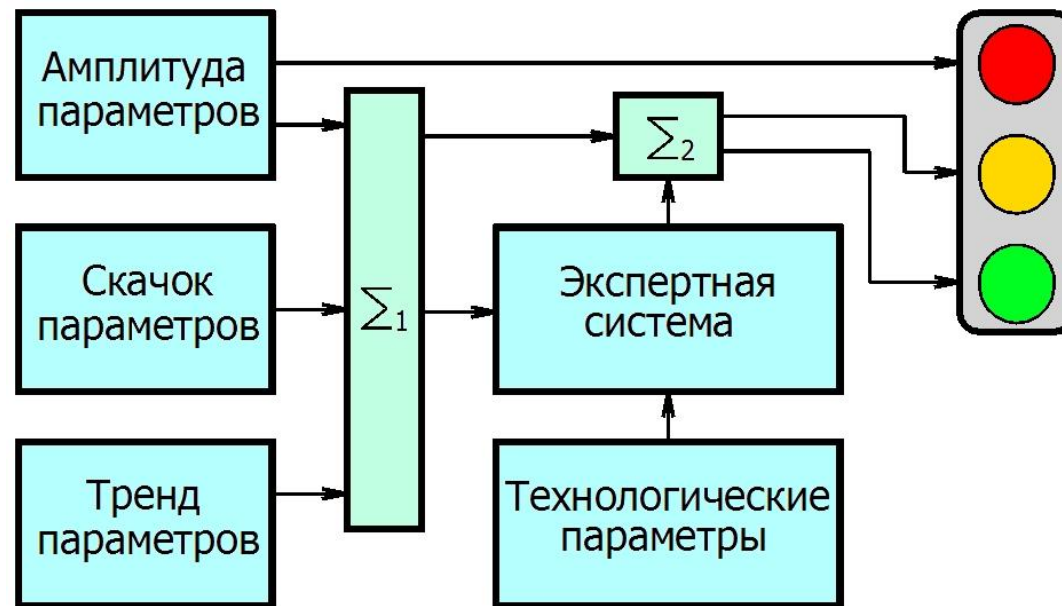
Эти параметры имеют максимальную значимость и наиболее активно используются в системе управления ремонтами и сервисным обслуживанием.

Условно - критические параметры технического состояния контролируемого оборудования (измеренные и расчетные), косвенно влияющие на возможность дальнейшей эксплуатации оборудования. Сюда входят все расчетные параметры, полученные на основании работы экспертных систем.

Не критические параметры технического состояния контролируемого оборудования (измеренные и расчетные), не оказывающие прямого влияния на возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

Комплексный параметр текущего технического состояния (Ктс) оборудования (текущий остаточный ресурс), описывающий состояние оборудования в момент проведения измерений, определяющий необходимость в проведении сервисных и ремонтных воздействий.

АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

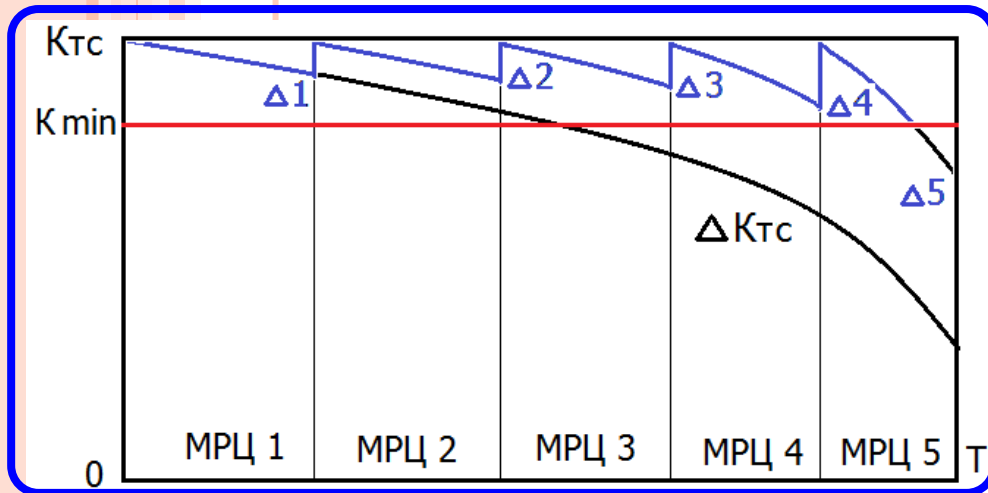


Оборудование переводится системой диагностики в категорию «предаварийное состояние» (красный сигнал светофора) только при недопустимо высоком уровне критических параметров (при наличии пороговых значений). Эта функция системы мониторинга дополняет работу систем РЗА.

Зеленый сигнал светофора включен системой мониторинга тогда, когда нет амплитудного превышения параметров, не было скачка, отсутствует временной тренд увеличения параметра. При этом экспертная диагностическая система по текущим значениям первичных параметров не выявила признаков дефектного состояния.

Желтый сигнал светофора зажигается при определенных сочетаниях первичных параметров и результатов работы экспертной системы.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ, ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТОВ



Скорость ухудшения технического состояния оборудования в процессе эксплуатации описывается кривой вида $\Delta K_{тс} = f(T)$, наклон которой в процессе работы увеличивается.

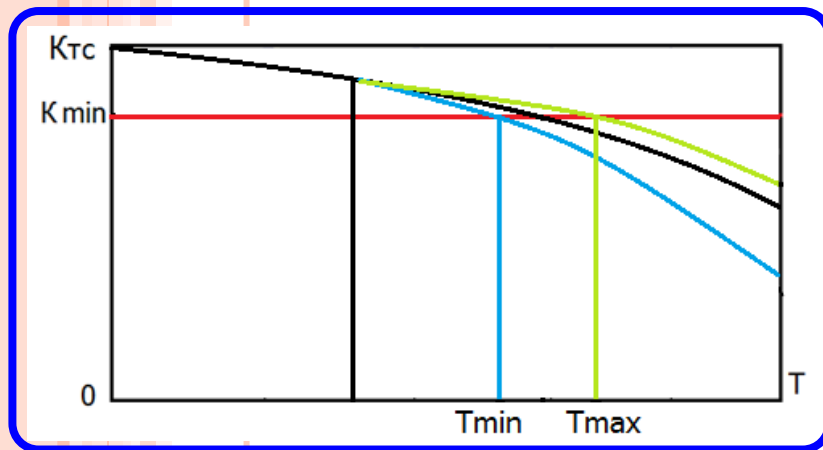
Проведение ремонтных работ в конце каждого МРЦ позволяет восстанавливать состояние оборудования до необходимой кондиции.

Реально необходимая стоимость ремонтных работ, при использовании системы ППР, является величиной переменной, и возрастает по мере износа оборудования. При использовании системы обслуживания по техническому состоянию (ОТС) стоимость ремонтных работ постоянна, но изменяется длительность межремонтных циклов (МРЦ).

Оборудование обычно выводят из эксплуатации и заменяют в двух случаях:

- Если текущая скорость ухудшения технического состояния возрастает настолько, что за время минимально возможного времени МРЦ состояние оборудования может опуститься ниже минимально допустимого. Это не позволит получить необходимую надежность снабжения потребителей электроэнергией.
- Когда увеличение стоимости ремонтных работ и уменьшение длительности МРЦ приводят к недопустимому увеличению стоимости владения оборудованием.

ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ – ДОСТОВЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СОСТОЯНИЯ



В системах ОТС необходимо учитывать, что любое ремонтное воздействие на оборудование может быть произведено только через определенный интервал времени, необходимый для принятия решения и подготовки к ремонту.

За это время реальное техническое состояние оборудования может кардинально измениться.

Чем больше время между проведением измерений и моментом проведения ремонтных работ, тем точнее должно быть прогнозирование.

Непредсказуемость прогнозирования зависит от сложности процессов изменения состояния, возникновения и саморазвития дефектов, велико влияние непрогнозируемых воздействий. Практически невозможно создать точную математическую модель, учитывающую все эти воздействия.

Оптимальным является использование адаптивных моделей оборудования, в которых происходит автоматическая перенастройка коэффициентов и параметров модели. Основным критерием, по которому происходит адаптация модели, является направление и скорость изменения параметров в момент проведения измерений системой диагностики.

Данные каждого нового замера первичных параметров всегда имеют приоритетную достоверность.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «iNVA-ALM» - ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Система «iNVA-ALM» (iNVA - Asset Life Management) – программная оболочка, реализующая функции технического и экономического управления сервисными и ремонтными работами на основании данных систем диагностики.

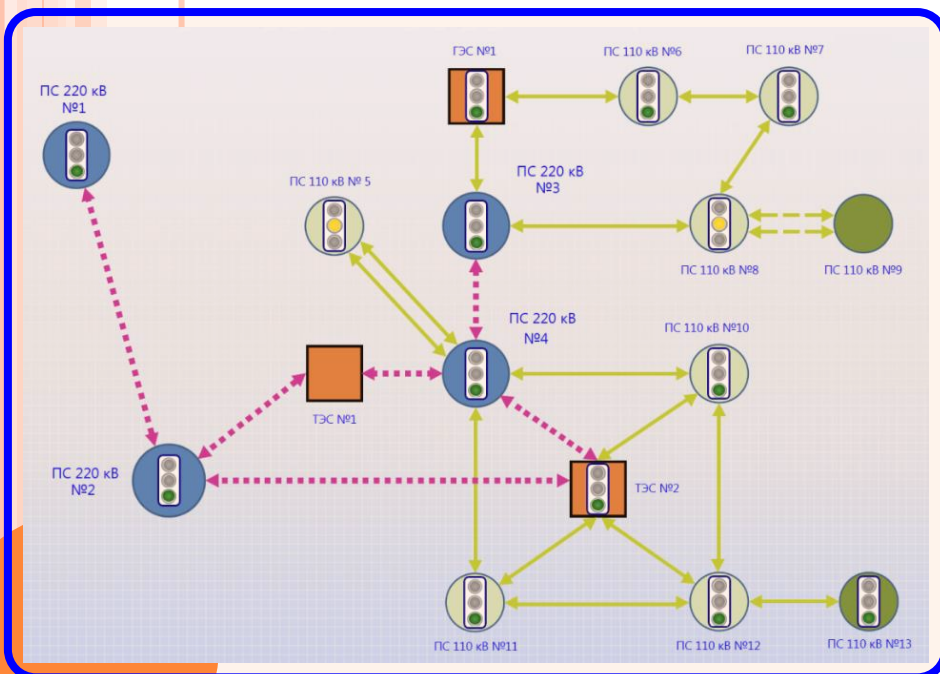
В комплексе программного обеспечения мониторинга высоковольтного оборудования «iNVA» является дополнительной программой для управления затратами, и работает с общими базами данных.

Программное обеспечение «iNVA-ALM» позволяет интегрировать в единое целое результаты работы всех систем диагностического мониторинга, установленных на трансформаторах, выключателях, кабельных и воздушных линиях, и другом высоковольтном оборудовании. В ней также используются данные не только от систем непрерывного мониторинга, но и от систем периодического контроля.

Все эти системы контроля могут быть поставлены различными фирмами, но они должны иметь «на своем выходе» рассчитанные актуальные интегральные значения, описывающие техническое состояние контролируемого оборудования на момент последнего измерения.

- В настоящее время система «iNVA-ALM» работает со всем диагностическим оборудованием, выпускаемым фирмой «DIMRUS».

ПРИМЕР ЧАСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, НА КОТОРОМ ОТРАБАТЫВАЮТСЯ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ



В качестве полигона для отработки алгоритмов системы управления затратами взят участок системы, состоящий из 16 транзитных и понижающих подстанций.

Всего на оборудовании этих подстанций было установлено около 150 различных систем диагностического мониторинга, контролирующих техническое состояние основных элементов транзита энергии.

Светофоры состояния, установленные на общей мнемосхеме рядом с каждой подстанцией, отражают состояние худшего их агрегатов подстанции, определенное по факту превышения порогов для критических и условно критических параметров состояния оборудования.

Для системы управления экономическими вложениями в оборудование все используемые системы мониторинга формируют комплексный параметр текущего технического состояния, однозначно определяющий необходимость проведения сервисных или ремонтных работ с оборудованием.

ФОРМИРОВАНИЕ ПУТИ ТРАНЗИТА ДЛЯ ГРУППЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПОДСТАНЦИЙ, ОБОРУДОВАНИЕ КОТОРЫХ ИМЕЕТ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ

Технологические и технико-экономические параметры путей транзита подстанции

Внешние линии	Подстанция	Внутренний транзит	Элементы транзита
КЛ 220 кВ ПС №1 - ПС №2	ПС №2	КЛ 220 кВ ПС №1 - ПС №2 ячейка №3 → КЛ 220 кВ ПС №2 - ТЭС №2	Внутренние элементы <input type="checkbox"/> АТ-1 <input type="checkbox"/> АТ-2 <input type="checkbox"/> ячейка АТ-1 <input type="checkbox"/> ячейка АТ-2 <input type="checkbox"/> ячейка №1 <input type="checkbox"/> ячейка №2 <input checked="" type="checkbox"/> ячейка №3 Внешние линии <input checked="" type="checkbox"/> КЛ 220 кВ ПС №2 - ТЭС №2
КЛ 220 кВ ТЭС №2 - ПС №4	ПС №4	КЛ 220 кВ ТЭС №2 - ПС №4 ячейка №1 → АТ-1 → ячейка №3 → КЛ 110 кВ ПС №4 - ПС №10	Внутренние элементы <input checked="" type="checkbox"/> АТ-1 <input type="checkbox"/> АТ-2 <input checked="" type="checkbox"/> ячейка №1 <input type="checkbox"/> ячейка №2 <input checked="" type="checkbox"/> ячейка №3 <input type="checkbox"/> ячейка №4 <input type="checkbox"/> ячейка №5 <input type="checkbox"/> ячейка №6 <input type="checkbox"/> ячейка №7 Внешние линии <input checked="" type="checkbox"/> КЛ 110 кВ ПС №4 - ПС №10 <input type="checkbox"/> КЛ 110 кВ ПС №4 - ПС №11

- Формирование транзита производится при помощи специальной функции программы, которая базируется на общей структуре базы данных комплекса систем мониторинга.

Возможно создание основных и резервных путей транзита.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ВЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ТРАНЗИТ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ОБЩЕГО ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

В системе «iNVA-ALM» реализованы три вида целевой функции, предназначенных для оптимизации ремонтных вложений в оборудование:

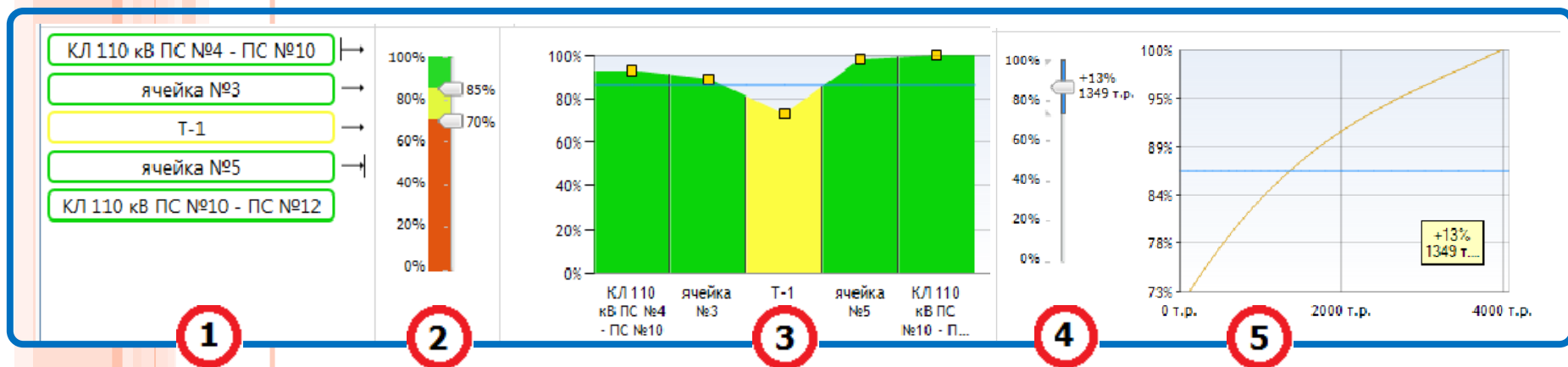
1 - Управление экономическими вложениями в сервис и ремонт единичного оборудования, исходя из определенного системами мониторинга текущего технического ресурса, практически реализуя классическую систему обслуживания по техническому состоянию (локальное планирование затрат).

2 - Устранение «слабого звена» в оборудовании технологической цепи транзита исходя из сравнительного текущего технического ресурса – локализация технологически обоснованных вложений материальных ресурсов (комплексное планирование затрат).

3 – Управление экономическими вложениями в сервис и ремонт исходя из расчетного прогнозного срока развития выявленных в оборудовании дефектных состояний. В этом режиме определяющим фактором является не текущее техническое состояние, а прогнозный срок достижения «худшим по прогнозу оборудованием» предаварийного состояния.

Наиболее эффективным является совместное использование всех трех целевых функций управления, отдавая предпочтение общей минимизации затрат на длительную эксплуатацию оборудования. Самым важным является обеспечение длительной работы (целевая функция 3), и устранение «текущего слабого звена» в транзите (целевая функция 2).

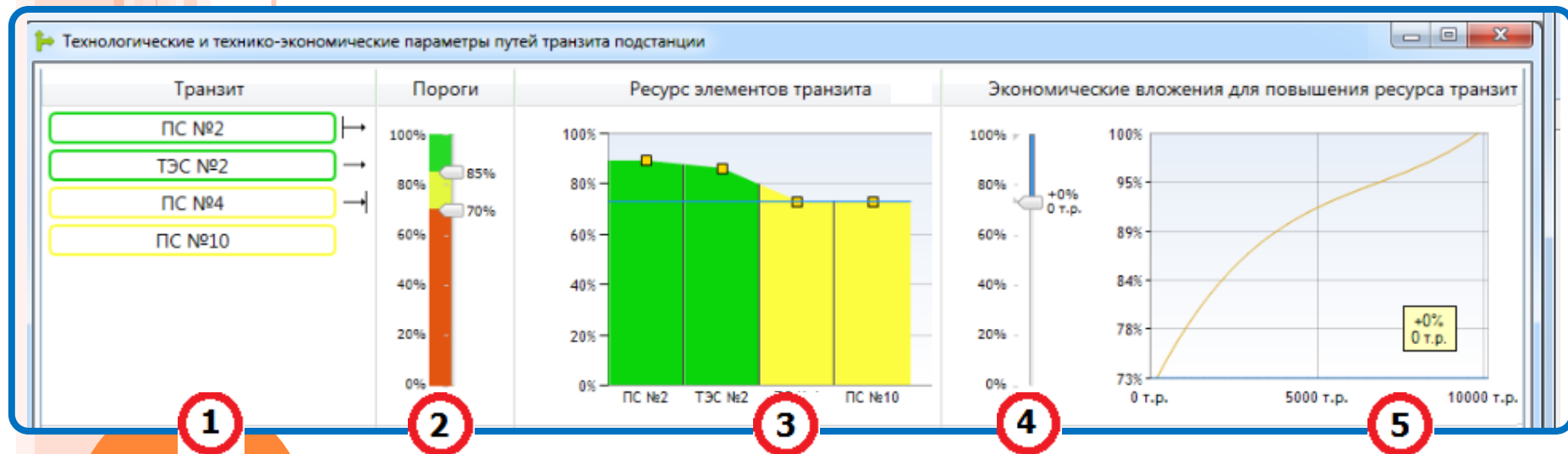
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА И ОБЪЕМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЛОЖЕНИЙ В «СЛАБОЕ ЗВЕНО» ТРАНЗИТА НА УРОВНЕ ПОДСТАНЦИИ



Графическое представление расчета места и объема экономических вложений в технологическую цепь передачи энергии на уровне подстанции:

- 1 – Описание и состав оборудования технологической цепи транзита.
- 2 – Заданные пороговые значения технического состояния оборудования транзита – «тревожное» и «предаварийное».
- 3 – График текущего значения коэффициента технического состояния оборудования, входящего в состав транзита.
- 4 – Шкала для графического задания необходимого значения коэффициента технического состояния транзита, которое нужно получить после проведения ремонта.
- 5 – График связи необходимо значения коэффициента технического состояния оборудования с объемом необходимых экономических вложений. Такой же график может быть построен для каждой единицы оборудования транзита.

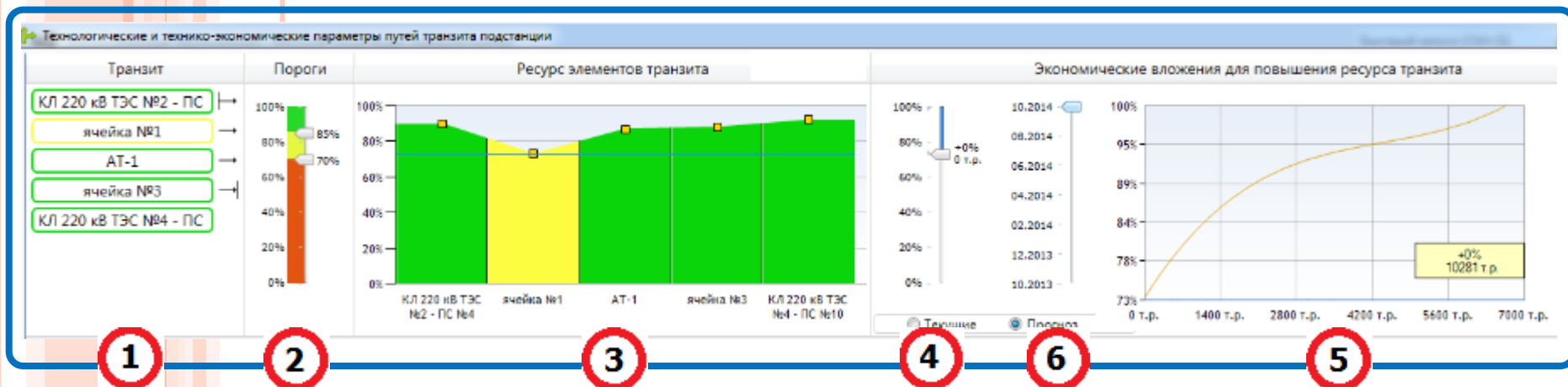
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА И ОБЪЕМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЛОЖЕНИЙ В «СЛАБОЕ ЗВЕНО» ТРАНЗИТА ЧЕРЕЗ НЕСКОЛЬКО ПОДСТАНЦИЙ



Пример графического представления информации о определении необходимых экономических вложений в оборудование транзита, последовательно проходящего через четыре подстанции.

В зависимости от выбранного значения желаемого коэффициента технического состояния программа выбирает подстанции и оборудование на них, нуждающееся в проведении ремонтных и сервисных работ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ВЛОЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ПО ИЗМЕНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНЗИТА НА МОМЕНТ РЕМОНТА



При планировании экономических вложений в транзит на будущие периоды времени необходимо учитывать то, что техническое состояние оборудования к моменту проведения плановых ремонтных работ будет другим, отличным от текущего.

Более правильно планировать экономические вложения в транзит с учетом прогнозов по изменению технического состояния оборудования, определенных с использованием адаптивных математических моделей.

Для этого в программе «iNVA-ALM» необходимо задать конечную точку временного интервала (шкала б), на который планируется реальное проведение ремонтных работ.

Программа скорректирует объем затрат, необходимых для поддержания заданного уровня технического состояния транзита, опираясь не на текущее техническое состояние, а на прогнозное состояние оборудования в момент проведения всех ремонтных и сервисных работ.

Спасибо за внимание

