



УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ ЛИНИЙ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

ОАО «Институт
«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕК
Т»

Селезнева Н.А.

ОАО «Холдинг
МРСК»

Илюшин П.В.

ОАО «Энера
Инжиниринг»
ГК «Оптима»
Барбетов А.И.



СОДЕРЖАНИЕ

- ◆ Опасность перегрузки линий
- ◆ Создание устройства АОПЛ
- ◆ Особенности устройства АОПЛ
- ◆ Величины, необходимые для определения перегрузки
- ◆ Ток наиболее загруженного участка
- ◆ Постоянная времени нагрева проводника
- ◆ Длительно допустимый ток
- ◆ Работа устройства АОПЛ
- ◆ Определение управляющих воздействий
- ◆ Пример организации системы АОПЛ
- ◆ Унифицированный алгоритм устройства АОПЛ
- ◆ Унификация решений по АОПЛ



ПРОДОЛЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ

- ◆ Решения для объектов МОЭСК
- ◆ АОПЛ ПС Очаково
- ◆ АОПЛ ПС Вернадская и Черёмушки
- ◆ АОПЛ ПС Некрасовка
- ◆ АОПЛ ПС Красногорская
- ◆ АОПЛ ПС Серпухов
- ◆ АОПЛ ПС Клязьма
- ◆ Реализация системы АОПЛ на ПС Черёмушки
- ◆ Реализация системы АОПЛ на ПС
Красногорская
- ◆ Реализация системы АОПЛ на ПС
Вернадская
- ◆ Итоги и выводы



ОПАСНОСТЬ ПЕРЕГРУЗКИ ЛИНИЙ

ВЛ

тепловое
расширение

увеличение
стрелы
провеса

Возможность
перекрытия и
КЗ

снижение
механической
прочности провода

сокращение
«срока жизни»
провода

КЛ

старение изоляции

пробой

КВЛ

летом большей опасности подвержен
воздушный участок, зимой – кабельный

Отключение перегруженной линии может привести к каскадному развитию аварии !

**НЕОБХОДИМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ**





СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА АОПЛ

конец 2007 г. – МОЭСК заказывает у ЭСП разработку устройства АОПЛ:

Автоматического
Ограничения
Перегрузки
Линий.

2008 г. – ЭСП выполняет проекты для 6* сетевых районов.

2009-2010 г. – Энера Инжиниринг выполняет рабочую документацию

по проектам ЭСП Очаково

7 Клязьма

2 Вернадская

6 Серпухов

3 Некрасовка

5 Черёмушки

4 Красногорская





ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА АОПЛ

- ✓ определяет термическую перегрузку линии – её перегрев
- ✓ работа автоматики в принципе точнее, чем у токовой
- ✓ меньше объём управляющих воздействий

ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП:
ТЕМПЕРАТУРА ЛИНИИ СРАВНИВАЕТСЯ С ДОПУСТИМОЙ

Длительно
допустимая
температура

70 °С для ВЛ*

90 °С для ВЛ***

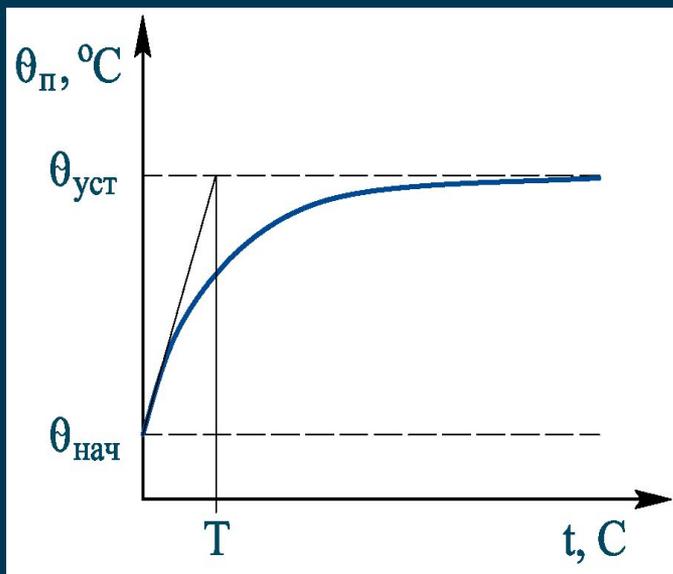
Аварийно допустимая
температура

85 °С для КЛ**

100 °С для КЛ***



ВЕЛИЧИНЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ



Линия моделируется
ИНЕРЦИОННЫМ ЗВЕНОМ
ПЕРВОГО ПОРЯДКА - ЭКСПОНЕНТОЙ

Для этого нужно знать:

- ✓ ток наиболее загруженного участка линии
- ✓ температура окружающего воздуха
- ✓ тепловые характеристики линии:

T, c – постоянная времени нагрева проводника

$I_{\text{д}}, \text{A}$ – длительно допустимый ток

ЭТИ ВЕЛИЧИНЫ ЛЕГКО ДОСТУПНЫ:

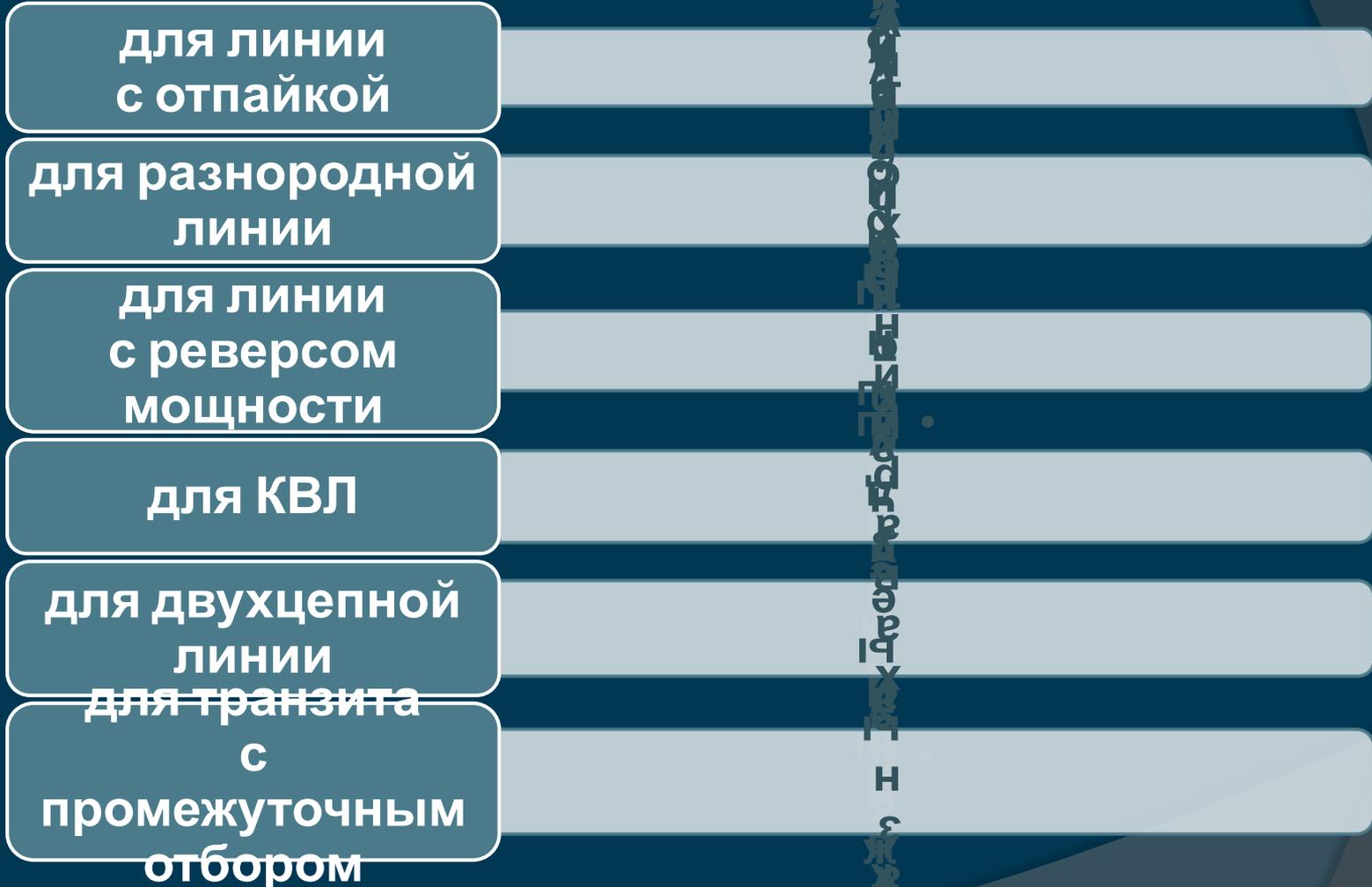
ток линии – от трансформатора тока или телемеханики

θ воздуха – от датчика температуры воздуха





ТОК НАИБОЛЕЕ ЗАГРУЖЕННОГО УЧАСТКА



ВЫВОД: УСТРОЙСТВО АОПЛ ДОЛЖНО ЗАЩИЩАТЬ ДВА УЧАСТКА И УЧИТЫВАТЬ РЕВЕРС МОЩНОСТИ



ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА ПРОВОДНИКА

Для
провода
ВЛ

$$T = \frac{mc}{\alpha_k + \alpha_l} \quad (с)$$

- где m – масса одного метра провода, кг/м
 c – удельная теплоёмкость провода, (Вт·с)/(кг·°С)
 α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м·°С)
 α_l – коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/(м·°С)

Для
кабеля в
воздухе

$$T = (S_1 + S_3) \cdot [c_{ж} + 0,5(c_{из} + c_{св})] \quad (ч)$$

- где S_1 – тепловое сопротивление изоляции кабеля, (°С·см)/Вт
 S_3 – тепловое сопротивление оболочки кабеля, (°С·см)/Вт
 $c_{ж}$ – удельная теплоёмкость жилы кабеля, (Вт·ч)/(см³·°С)
 $c_{из}$ – удельная теплоёмкость изоляции жил, (Вт·ч)/(см³·°С)
 $c_{св}$ – удельная теплоёмкость свинца, (Вт·ч)/(см³·°С)

Для
кабеля в
земле

$$T = (S_1 + S_2 + S_4) \cdot [c_{ж} + 0,5(c_{из} + c_{св} + c_{покp})] \quad (ч)$$

- где S_2 – тепловое сопротивление защитных покровов подземных кабелей, (°С·см)/Вт
 S_4 – тепловое сопротивление почвы, окружающей кабель, (°С·см)/Вт
 $c_{покp}$ – удельная теплоёмкость защитных покровов, (Вт·ч)/(см³·°С)



ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ ТОК

- такое значение тока, при протекании которого по проводу/кабелю его температура устанавливается равной длительно допустимой

для ВЛ

В зависимости от температуры воздуха

Известны нормированные значения.
Но для конкретных погодных условий

для КЛ

В зависимости от допустимой длительности

ИХ СЛЕДУЕТ УТОЧНЯТЬ

$$I_{\text{д}} = \sqrt{\frac{(\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}) \cdot (\theta_{\text{д}} - \theta_{\text{в}}) - P_{\text{р}}}{R_{\text{п}}}} \text{ (А)}$$

где $\theta_{\text{д}}$ – длительно допустимая температура провода, °С

$\theta_{\text{в}}$ – температура воздуха, °С

$P_{\text{р}}$ – мощность солнечной радиации, Вт/м

$R_{\text{п}}$ – сопротивление одного метра провода при длительно допустимой температуре, Ом/м



РАБОТА УСТРОЙСТВА АОПЛ

Определение температуры проводника

$$\theta_{\text{п}} = \theta_{\text{нач}} + (\theta_{\text{уст}} - \theta_{\text{нач}}) \cdot (1 - e^{-t/T})$$

где $\theta_{\text{нач}}$ – начальная температура провода, °С
 $\theta_{\text{уст}}$ – установившаяся температура провода, °С
 t – время, прошедшее с начала переходного процесса, с

Работа на сигнал

$$I \geq I_{\text{д}}$$

$$\theta_{\text{п}} \geq \theta_{\text{д}}$$

Осуществление УВ ступенями

$$\theta_{\text{п}} \geq K_i \cdot \theta_{\text{д}}$$

Прекращение срабатывания

$$I \leq 0,95 \cdot I_{\text{д}}$$

Возврат к исходной схеме

$$\theta_{\text{п}} \leq 0,95 \cdot \theta_{\text{д}}$$

$$I \leq 0,95 \cdot I_{\text{д}}$$

УСТРОЙСТВО АОПЛ НЕ ВЫБИРАЕТ ОБЪЁМ УВ, А ДЕЙСТВУЕТ ИТЕРАЦИОННО

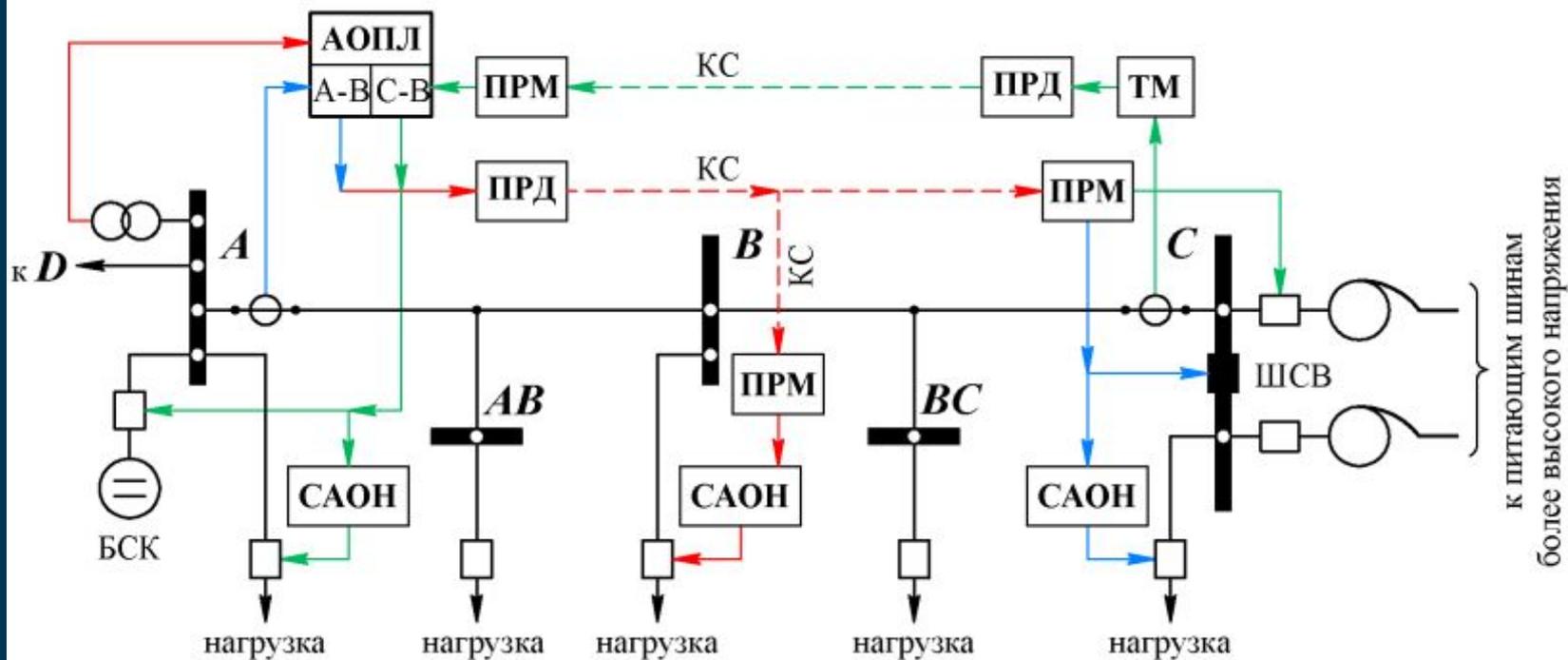


ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ



УВ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОМ ПРИ РАСЧЁТАХ И ЗАКЛАДЫВАЮТСЯ В УСТРОЙСТВО ЗАРАНЕЕ

ПРИМЕР ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АОПЛ



Условные обозначения:

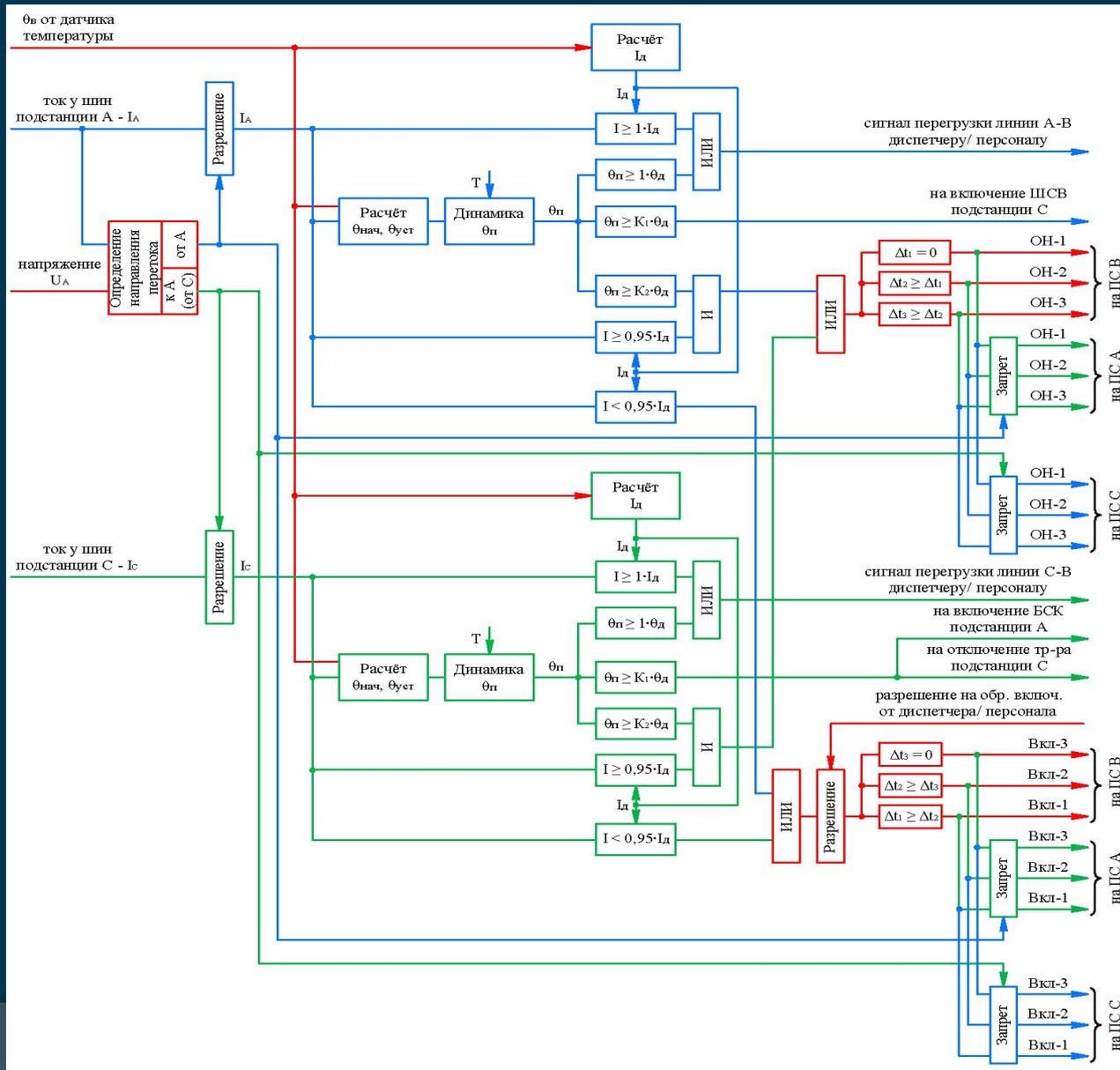
АОПЛ - автоматика ограничения перегрузки линий,	ТМ - телемеханика,
САОН - специальная автоматика отключения нагрузки,	КС - канал связи,
ПРД - передатчик,	БСК - батарея статических конденсаторов,
ПРМ - приёмник,	ШСВ - шиносоединительный выключатель.

Примечания:

- 1 Схема организации связи показана условно.
- 2 Отключение части нагрузки на подстанциях показано условно.



УНИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ УСТРОЙСТВА АОПЛ





РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОЭСК

Проект для ПС	Устанавливаемые устройства	Защищаемые линии	Противоаварийное управление	
			1-я ступень	2-я ступень
ПС 500 кВ Очаково	АОПЛ1	ВЛ 110 кВ Одинцово – Очаково I	одностор. откл. пит. АТ 220/110 кВ на ПС Очаково	
	АОПЛ2	ВЛ 110 кВ Одинцово – Очаково II		
ПС 110 кВ Вернадская	АОПЛ1	ВЛ 110 кВ Семёновская – Вернадская I	одностор. откл. пит. АТ 220/110 кВ на ТЭЦ-20	ОН на ПС Вернадская
	АОПЛ2	ВЛ 110 кВ Семёновская – Вернадская II		
ПС 110 кВ Некрасовка	АОПЛ1	ВЛ 110 кВ Красково – Некрасовка с отп. I	одностор. откл. отход. ВЛ 110 кВ Минеральная – Некрасовка	ОН на ПС Некрасовка, Прогресс, Минеральная, Чистая, Кучино
	АОПЛ2	ВЛ 110 кВ Красково – Некрасовка с отп. II		

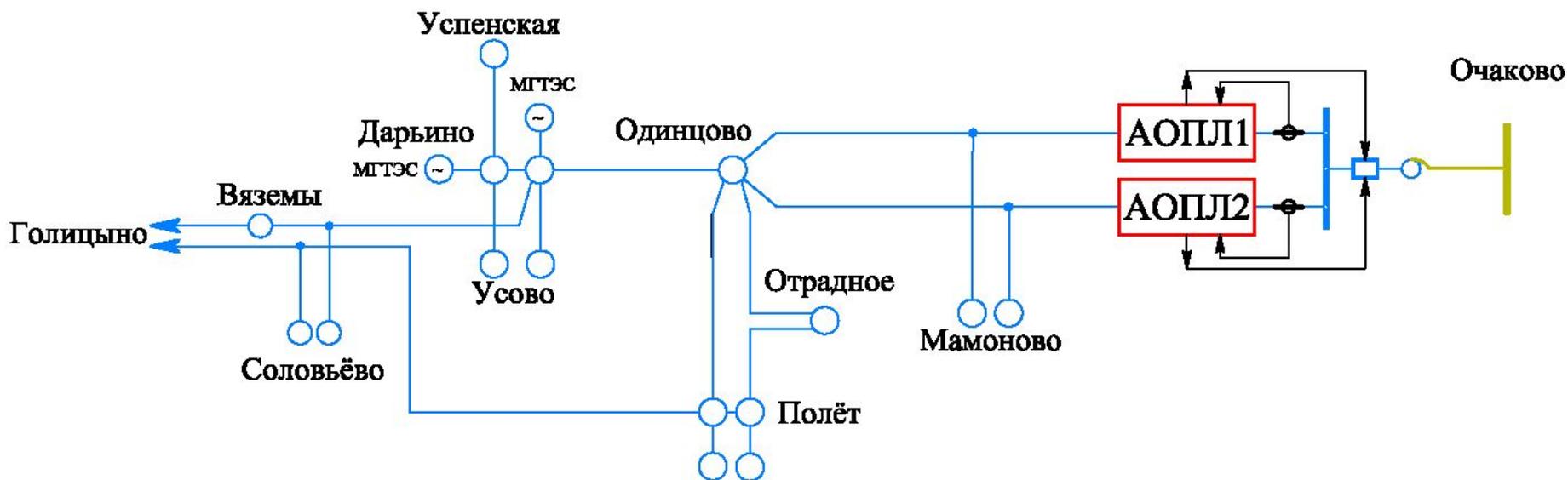


РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОЭСК (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Проект для ПС	Устанавливаемые устройства	Защищаемые линии	Противоаварийное управление	
			1-я ступень	2-я ступень
ПС 220 кВ Красногорская	АВР (с функцией АОПЛ)	ВЛ 110 кВ Герцево – Павшино – Красногорская с отп.	вкл. ШСВ 110 кВ на ПС Красногорская	
ПС 110 кВ Черёмушки	АОПЛ1	КВЛ 110 кВ ТЭЦ-20 – Черёмушки – Южная с отп. I	одностор. откл. пит. АТ 220/110 на ТЭЦ-20	ОН на ПС Черёмушки, Зюзино, Нагорная
	АОПЛ2	КВЛ 110 кВ ТЭЦ-20 – Черёмушки – Южная с отп. II		
ПС 110 кВ Серпухов	АОПЛ1	ВЛ 110 кВ Ока – Серпухов I	вкл. БСК на ПС Пушино	ОН на ПС Серпухов, Пушино
	АОПЛ2	ВЛ 110 кВ Ока – Серпухов II		
ПС 110 кВ Клязьма	АОПЛ1	ВЛ 110 кВ Трубино – Клязьма с отп. I и II	вкл. БСК на ПС Клязьма, сигнал о подг.	ОН на ПС Пушкино, Тополь
	АОПЛ2	ВЛ 110 кВ Роса – Пушкино – Клязьма		ОН на ПС Клязьма, Пушкино



АОПЛ ПС ОЧАКОВО

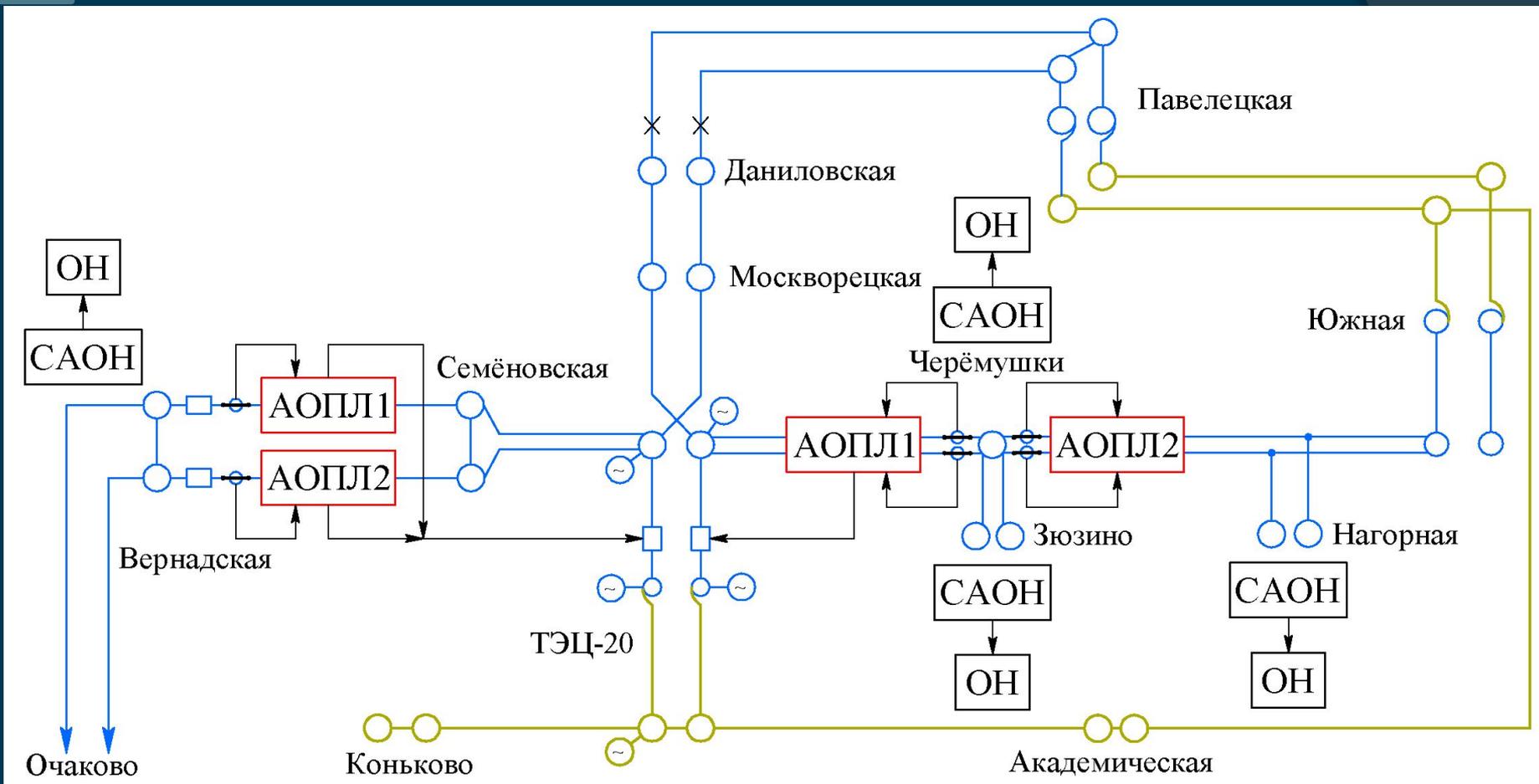


Защищаемые линии:

- ◆ АОПЛ1 – ВЛ 110 кВ Очаково – Одинцово I
- ◆ АОПЛ2 – ВЛ 110 кВ Очаково – Одинцово II



АОПЛ ПС ВЕРНАДСКАЯ И ЧЕРЁМУШКИ



Защищаемые линии:

◆ АОПЛ1, АОПЛ2 ПС Семёновская –

◆ АОПЛ1 ПС Черёмушки –

◆ АОПЛ2 ПС Черёмушки –

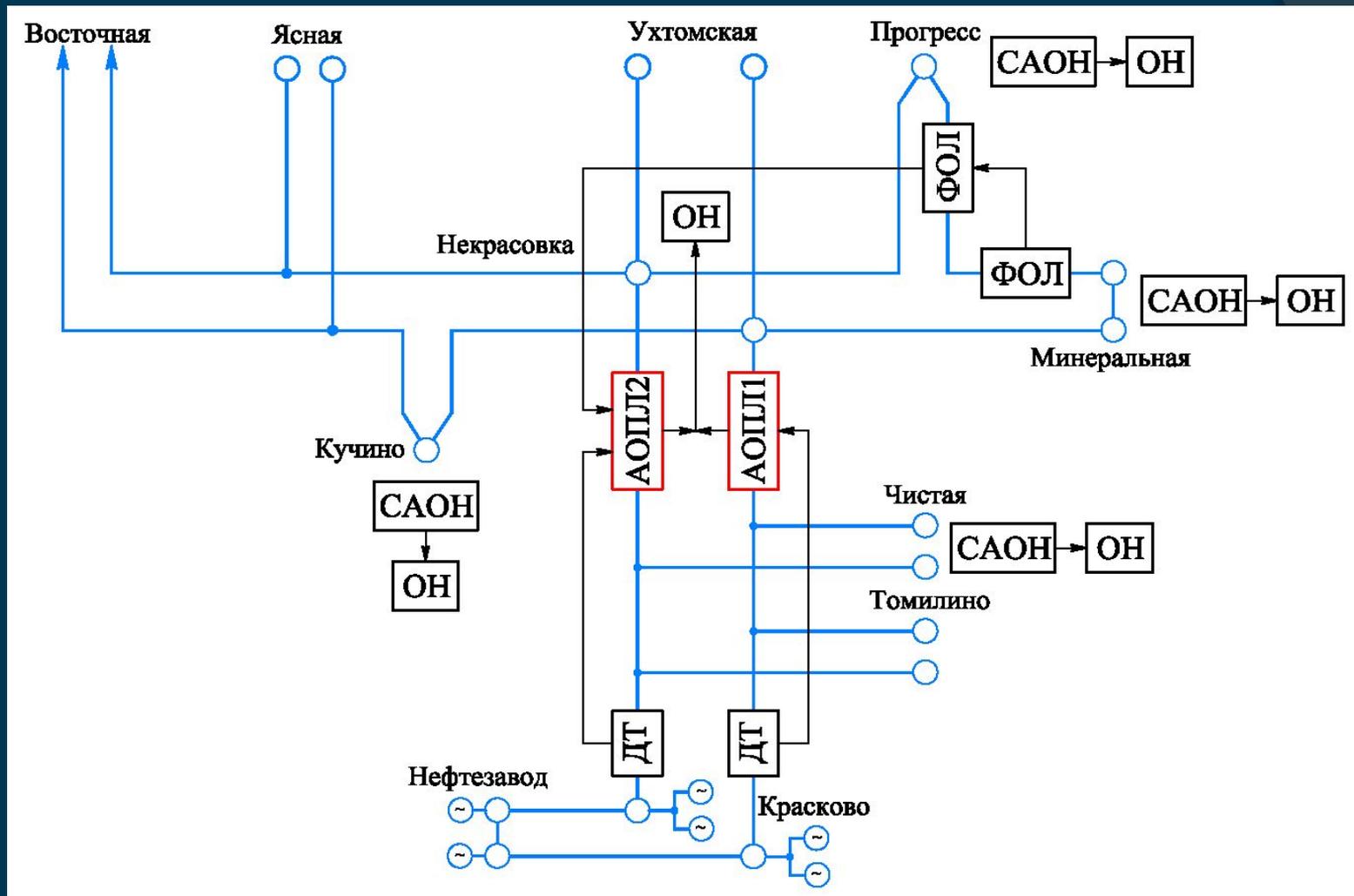
ВЛ 110 кВ Вернадская – Семёновская I, II

КЛ 110 кВ ТЭЦ-20 – Черёмушки I, II

КВЛ 110 кВ Южная – Черёмушки с отп.



АОПЛ ПС НЕКРАСОВКА

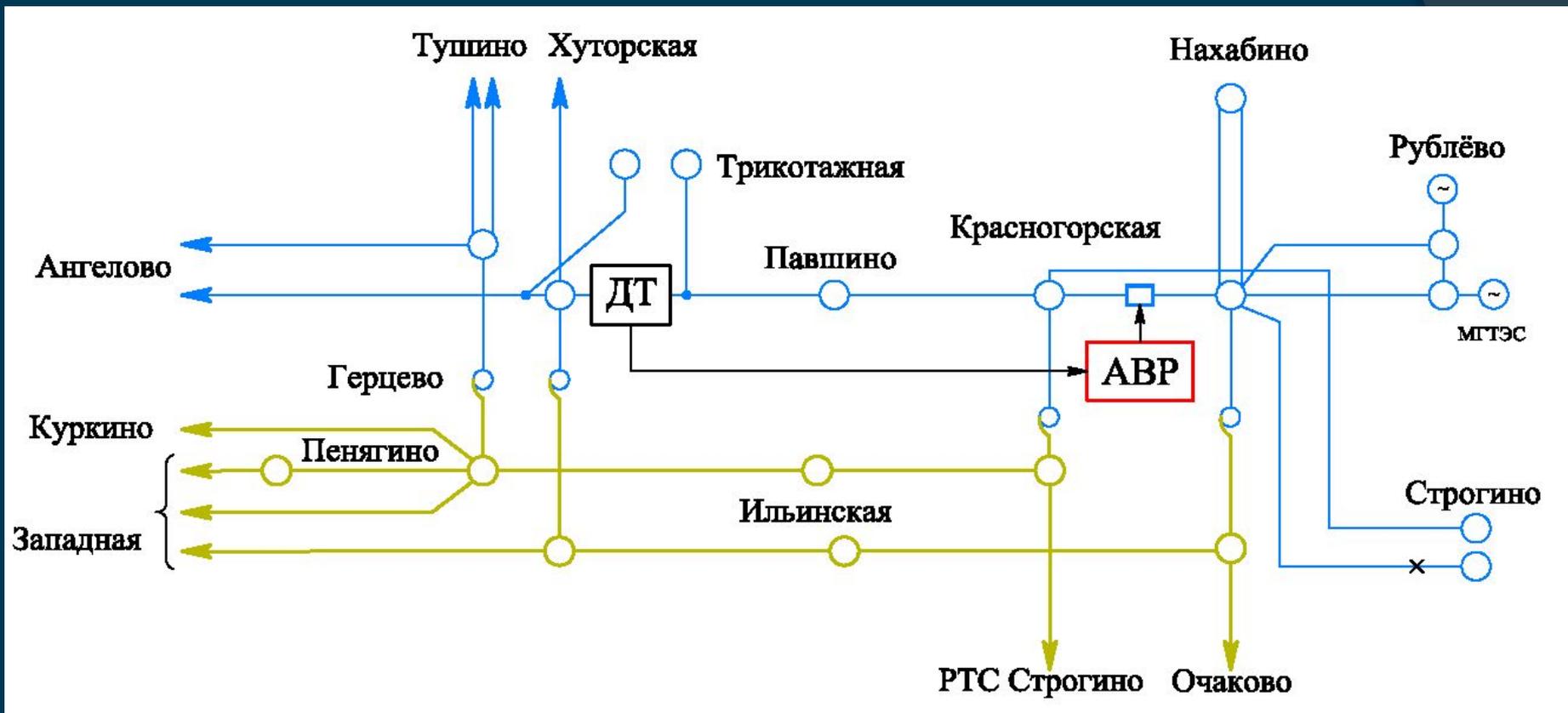


Защищаемые линии:

- ◆ АОПЛ1 – ВЛ 110 кВ Красково – Некрасовка I
- ◆ АОПЛ2 – ВЛ 110 кВ Красково - Некрасовка II



АОПЛ ПС КРАСНОГОРСКАЯ



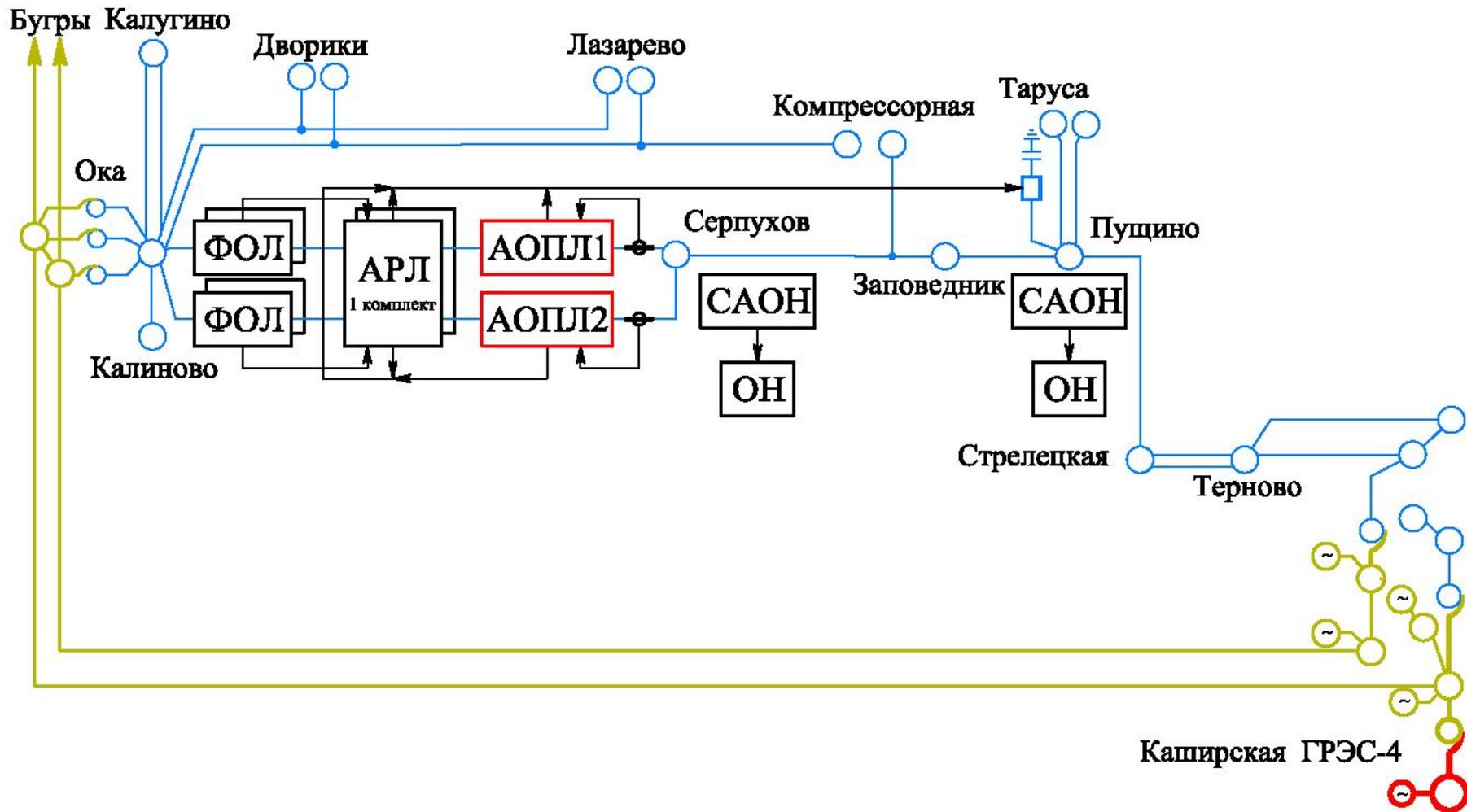
Защищаемые линии:

- ◆ АВР с функцией АОПЛ – ВЛ 110 кВ Герцево – Павшино с отп





АОПЛ ПС СЕРПУХОВ



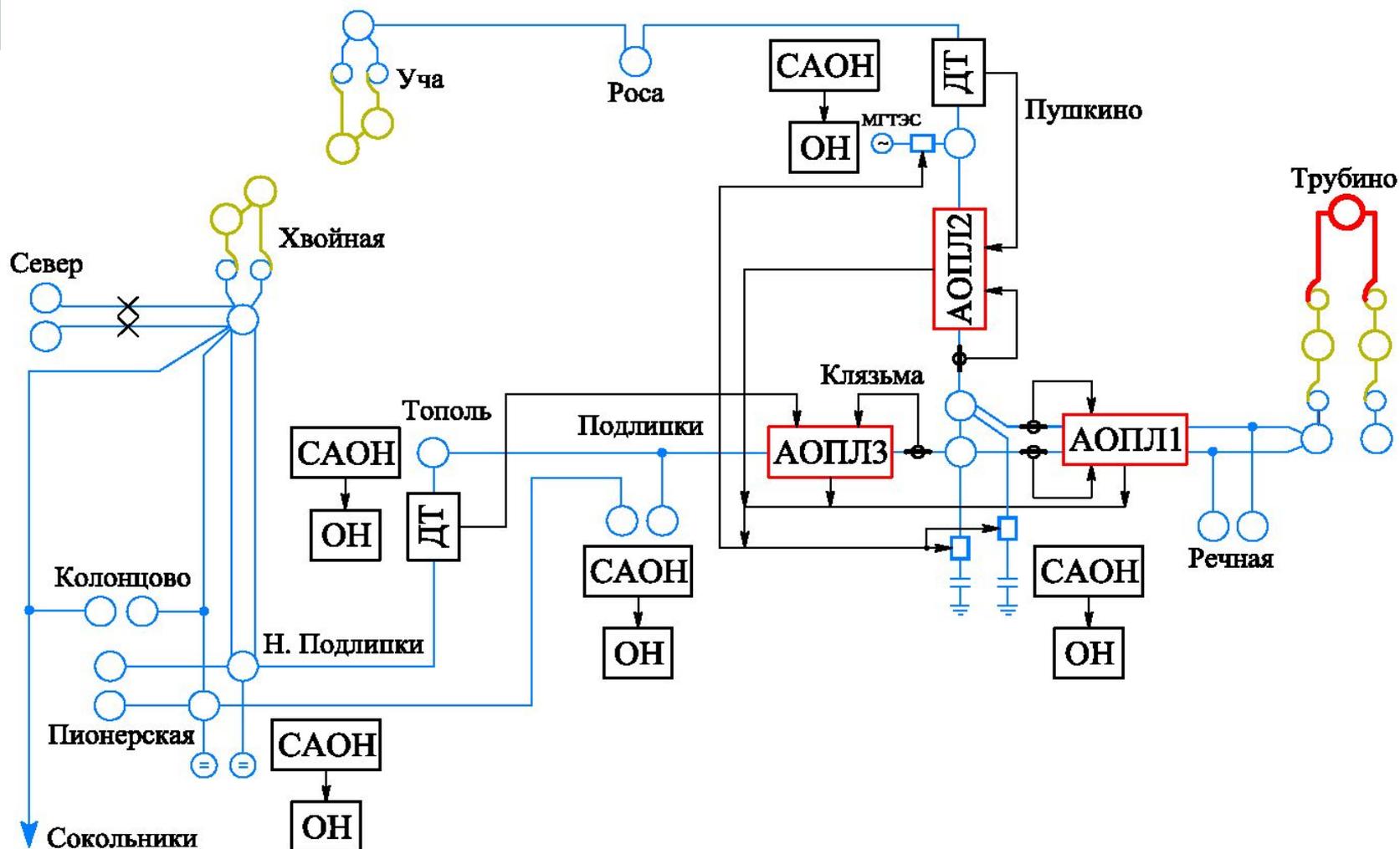
Защищаемые линии:

- ◆ АОПЛ1 – ВЛ 110 кВ Ока – Серпухов I
- ◆ АОПЛ2 – ВЛ 110 кВ Ока – Серпухов II





АОПЛ ПС КЛЯЗЬМА



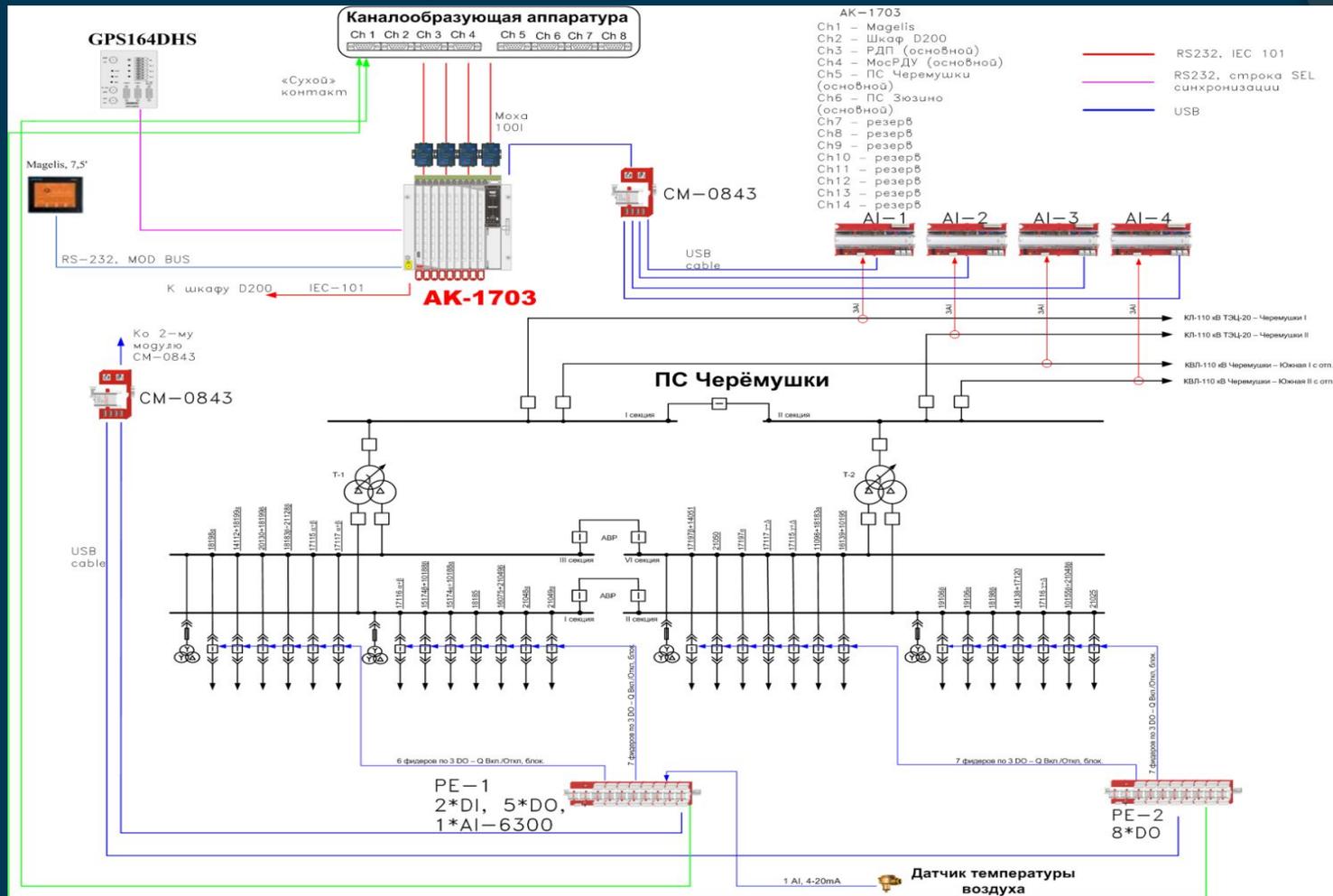
Защищаемые линии:

- ◆ АОП1 – ВЛ 110 кВ Трубино – Клязьма I, II
- ◆ АОП2 – ВЛ 110 кВ Роса – Пушкино и Пушкино – Клязьма
- ◆ АОП3 – ВЛ 110 кВ Н. Подлипки – Тополь и Тополь – Клязьма с





РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АОПЛ НА ПС ЧЕРЁМУШКИ

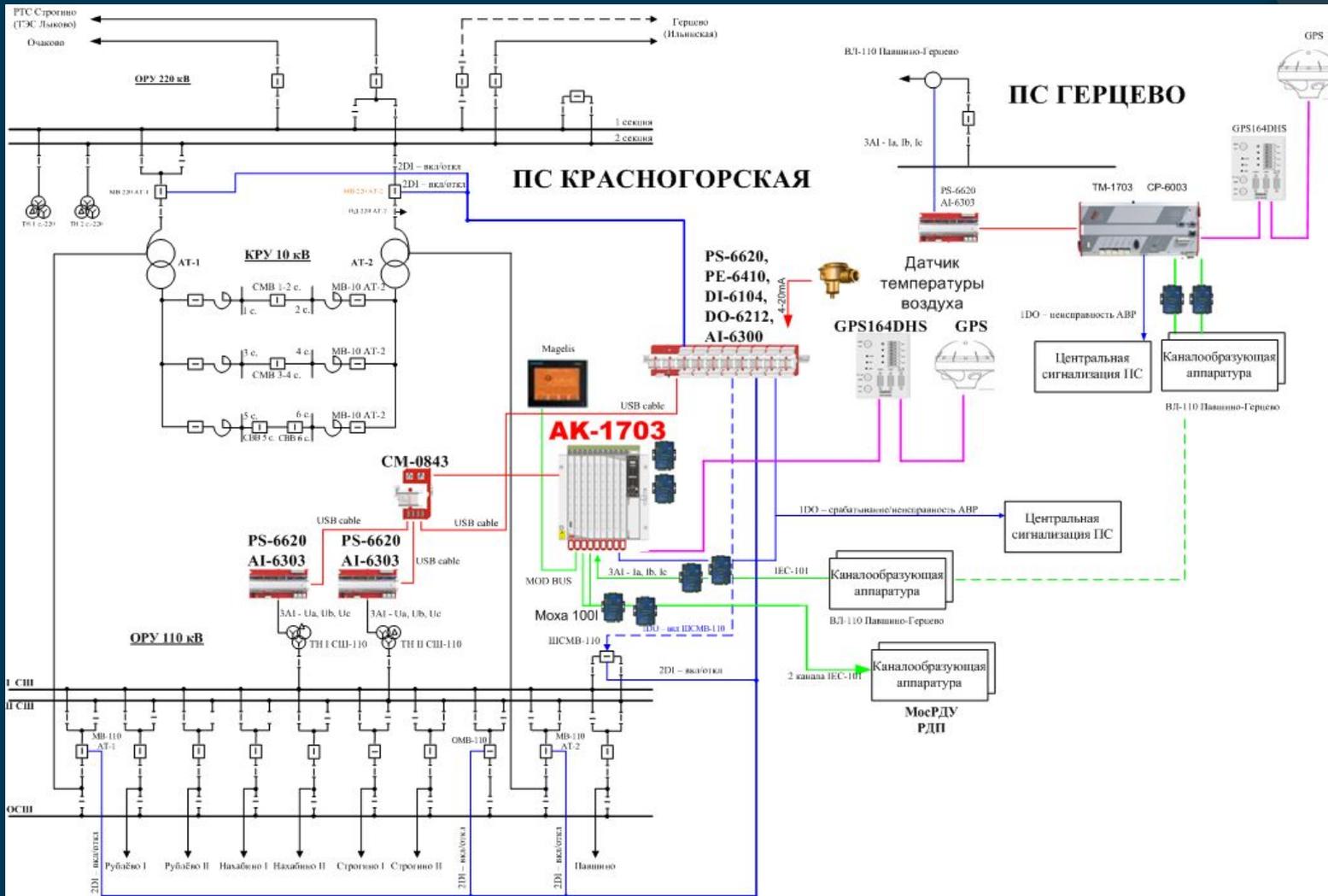


- + 2 независимых канала связи = управляющее воздействие 1
- + степени не введено
- + достоверизация измерений тока – (причина – различные собственники)





РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АОПЛ НА ПС КРАСНОГОРСКАЯ



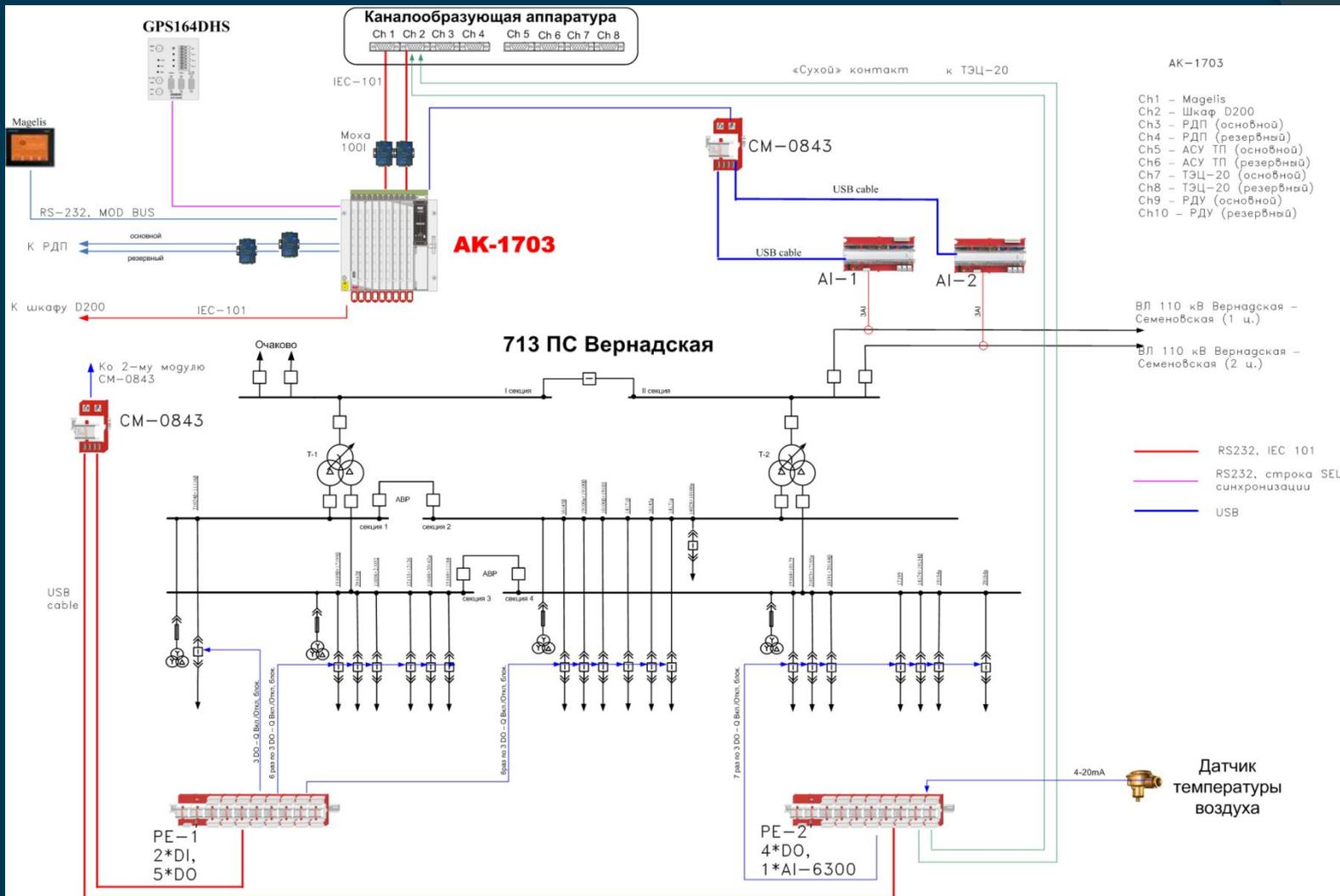
- + 2 независимых канала связи
- + достоверизация измерений тока
- + сенсорная панель – АРМ

токовый алгоритм не введён в работу
(причина – различные собственники)





РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АОПЛ НА ПС ВЕРНАДСКАЯ



- + 2 независимых канала связи
- + достоверизация измерений тока
- + сенсорная панель – АРМ

ПРОЕКТ РЕАЛИЗОВАН В ПОЛНОМ
ОБЪЁМЕ!





ИТОГИ И ВЫВОДЫ

Результаты

- ◆ Проекты по АОПЛ согласованы МОЭСК и МосРДУ
- ◆ Предложены проектные решения по корректировке схем на перспективу
- ◆ ОАО «Энера Инжиниринг» выполняет рабочую документацию Устройства для ПС Красногорская, Черёмушки и Вернадская введены в работу

Заключения

- ◆ Установка АОПЛ требует установки и других устройств ПА
- ◆ Система АОПЛ охватывает несколько объектов и требует организации системы связи
- ◆ Система АОПЛ требует стыковки с существующими и перспективными устройствами ПА
- ◆ Необходимо обеспечить взаимодействие системы АОПЛ с диспетчером

Вывод

- ◆ Надёжность энергоснабжения не должна достигаться посредством ПА. Необходимые меры – совершенствование и реконструкция электросети



НАШИ КООРДИНАТЫ

- ◆ сайт в интернете: www.oaoesp.ru
- ◆ телефон: (495) 962-93-01, факс: (495) 963-12-64
- ◆ e-mail: oaoesp@oaoesp.ru
- ◆ адрес: 105318, Россия, г. Москва, Ткацкая ул., д. 1
- ◆ реквизиты: ИНН/КПП 7719167509/771901001

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!