



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***

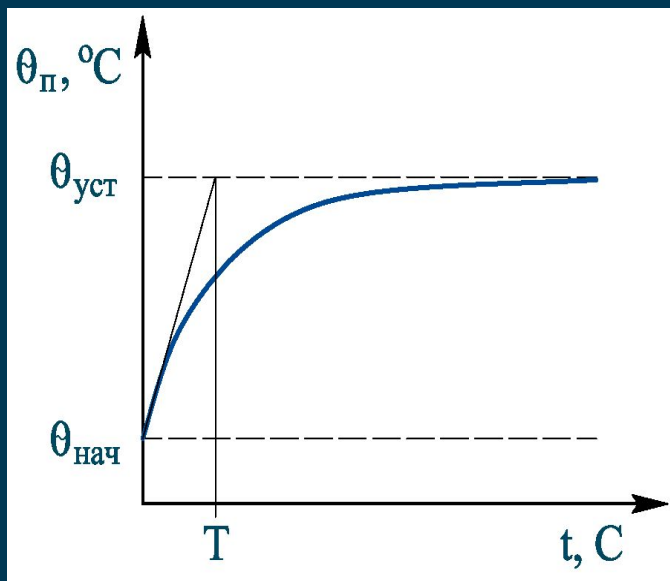
Аварийно допустимая
температура

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_d, A – длительно допустимый ток

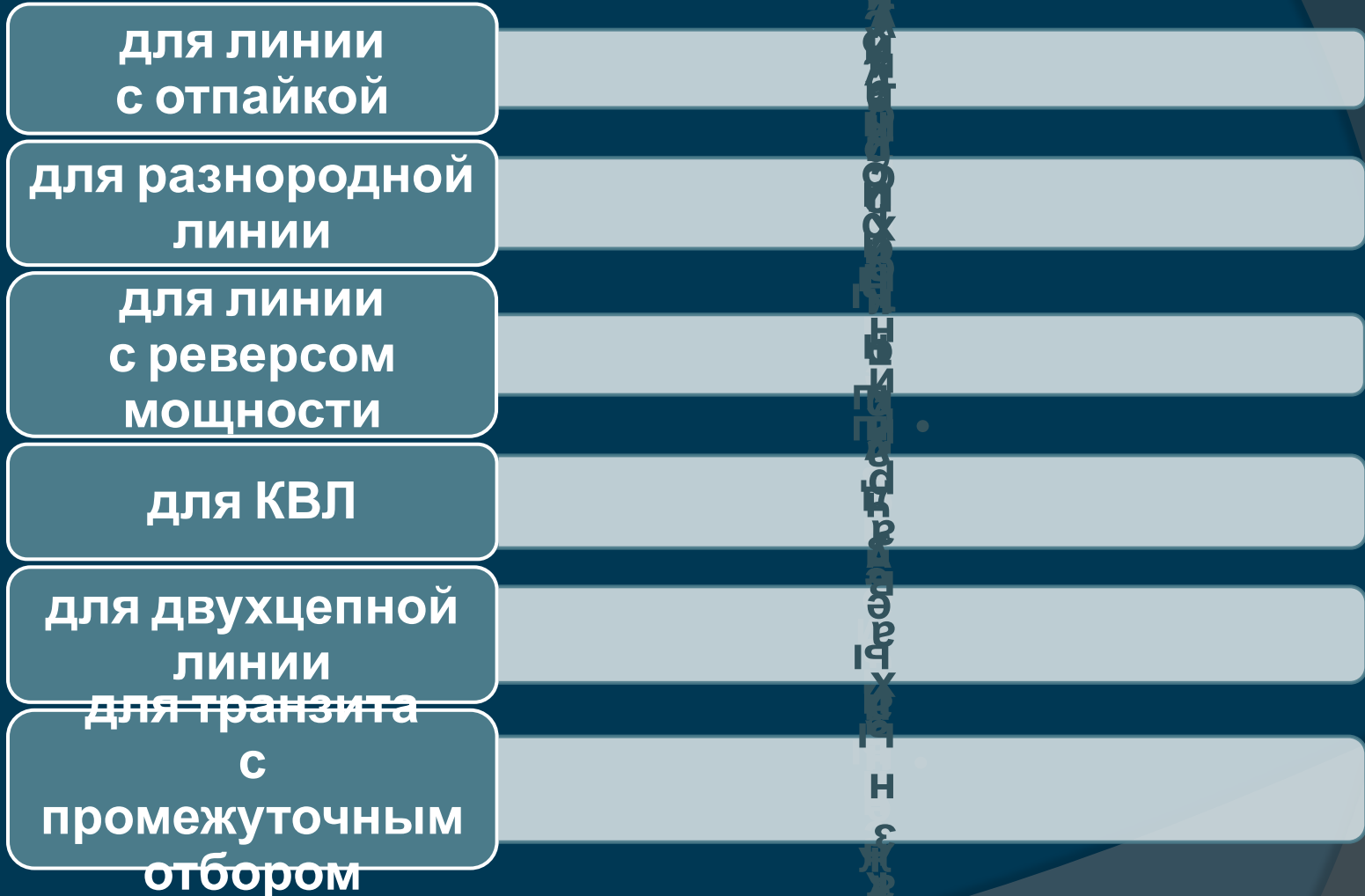
ЭТИ ВЕЛИЧИНЫ ЛЕГКО ДОСТУПНЫ :

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

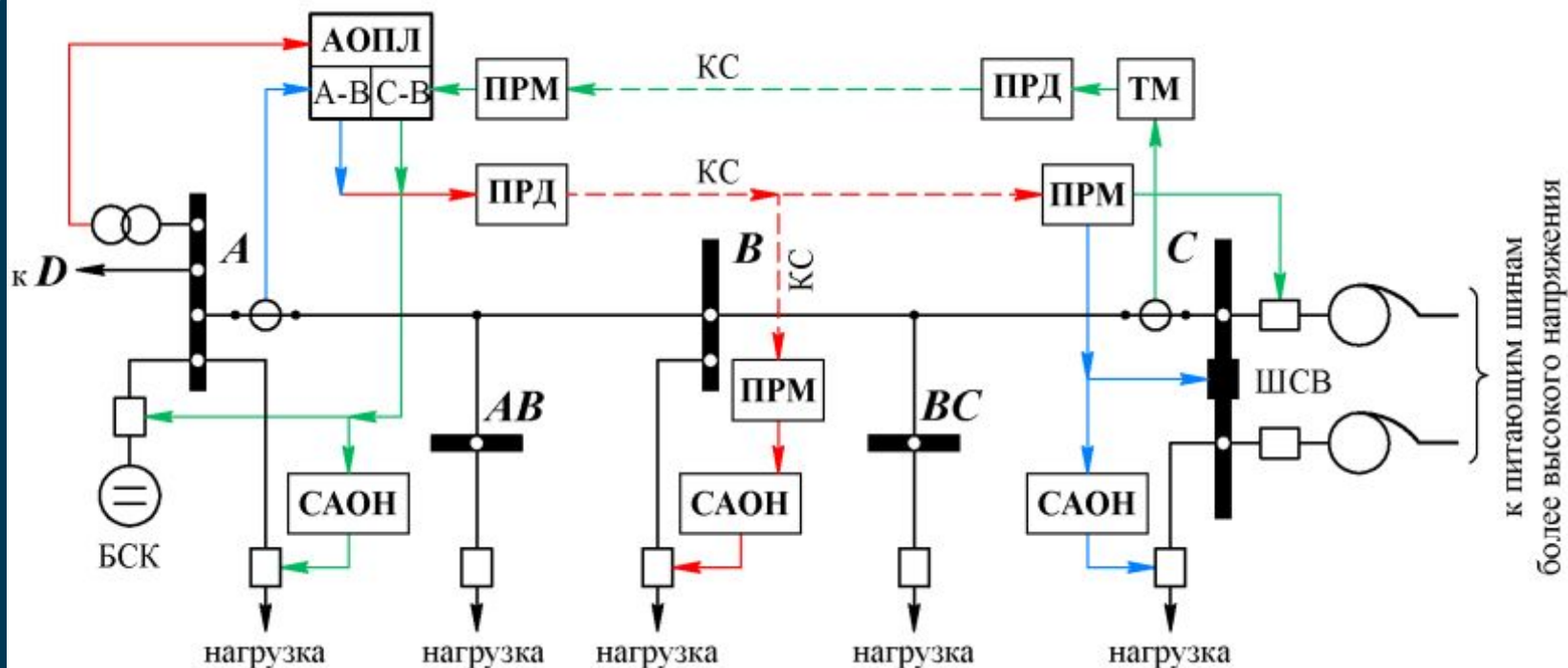


ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ



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.

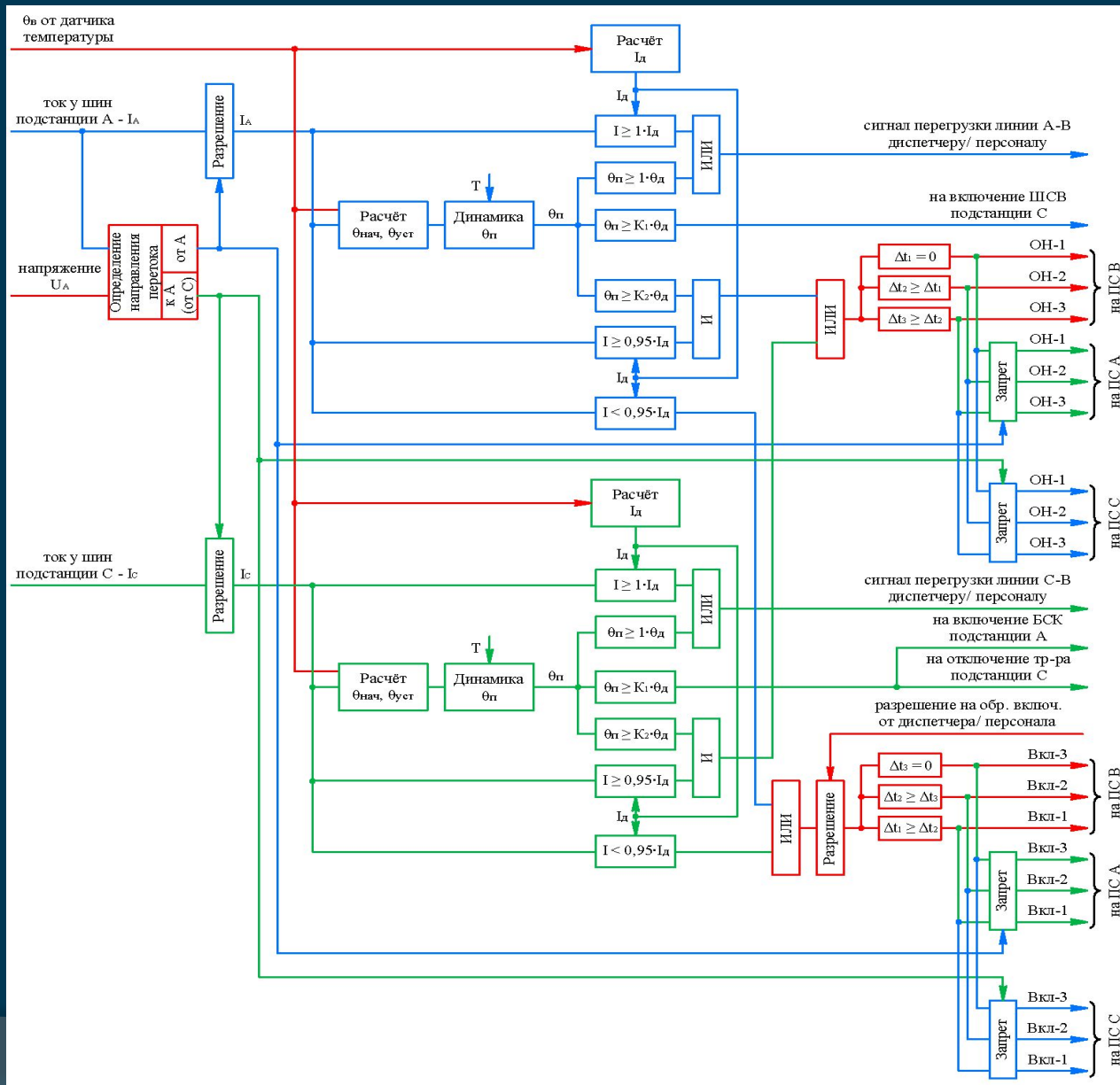
Примечания:

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

к питающим шинам
более высокого напряжения



УНИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ УСТРОЙСТВА АОПЛ





УНИФИКАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО АОПЛ



ВЛ

КЛ

КВЛ

УНИФИКАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО 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	одностор. откл. отход. ВЛ 110 кВ Прогресс – Некрасовка	

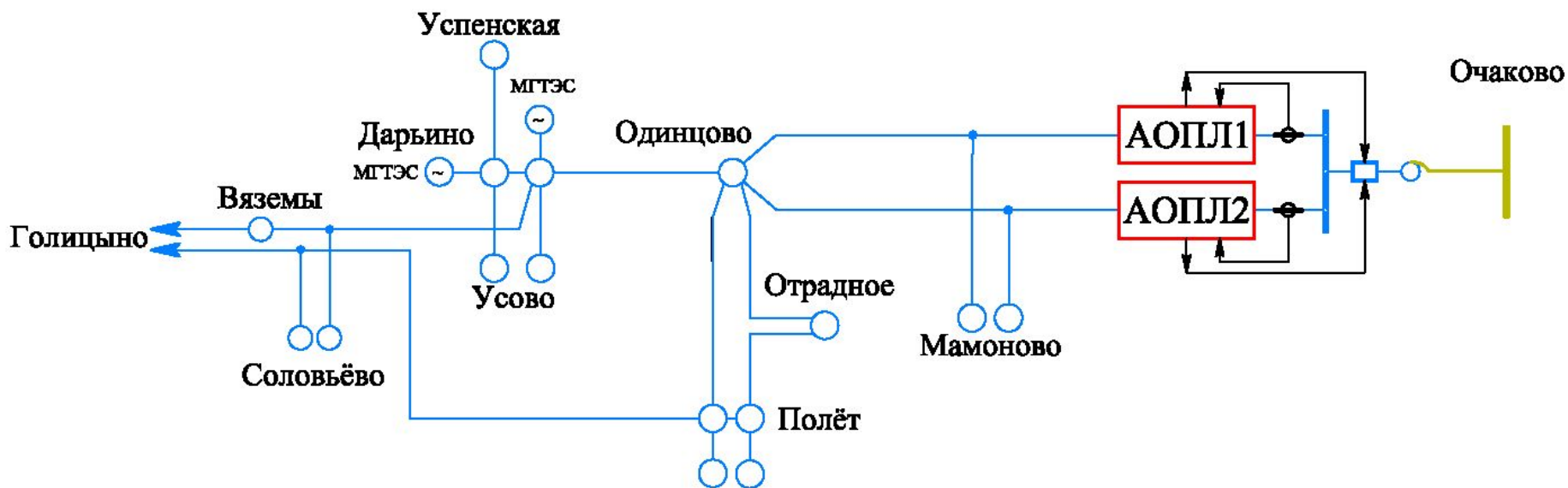


РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОЭСК (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

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

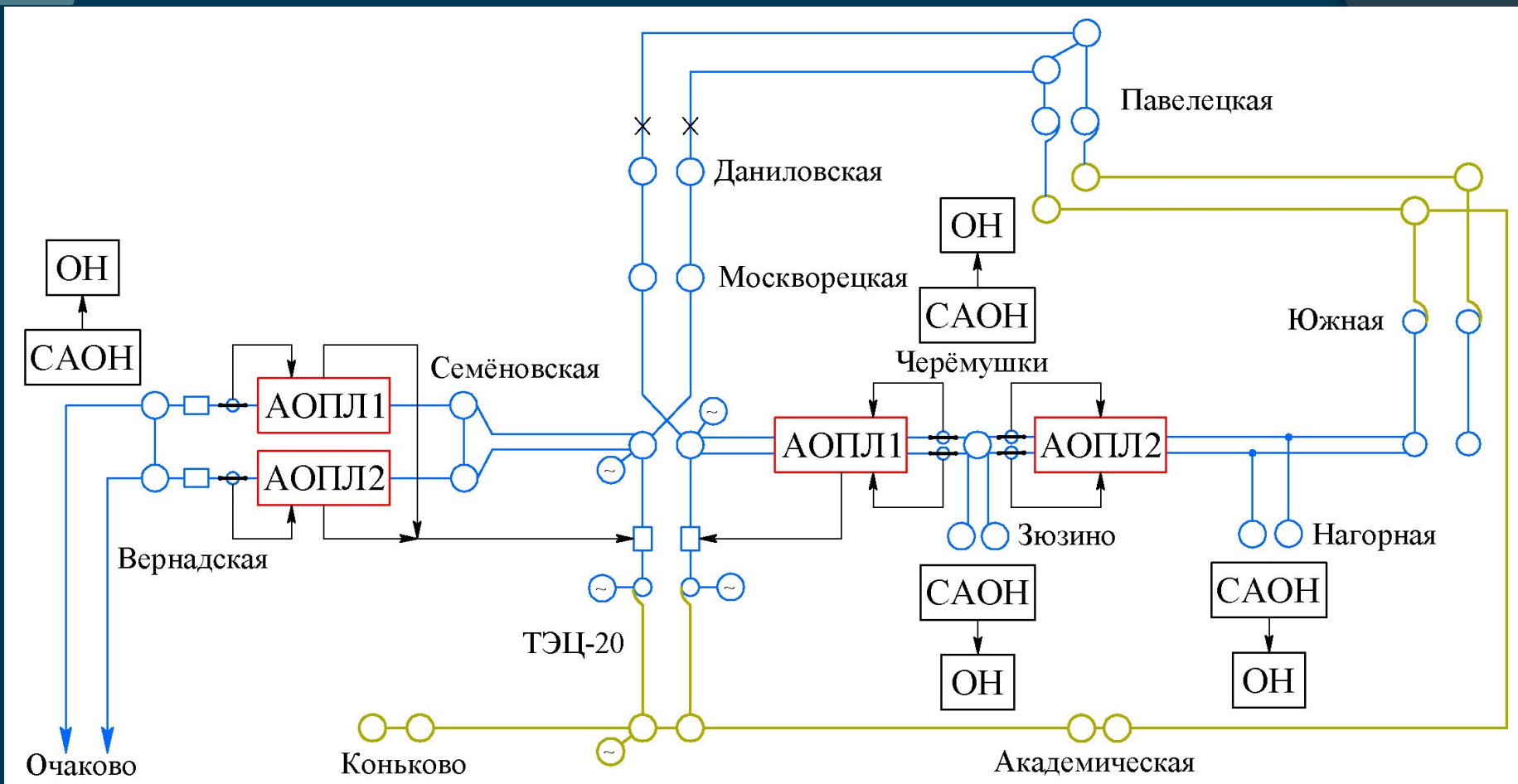


Защищаемые линии:

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



АОПЛ ПС ВЕРНАДСКАЯ И ЧЕРЁМУШКИ



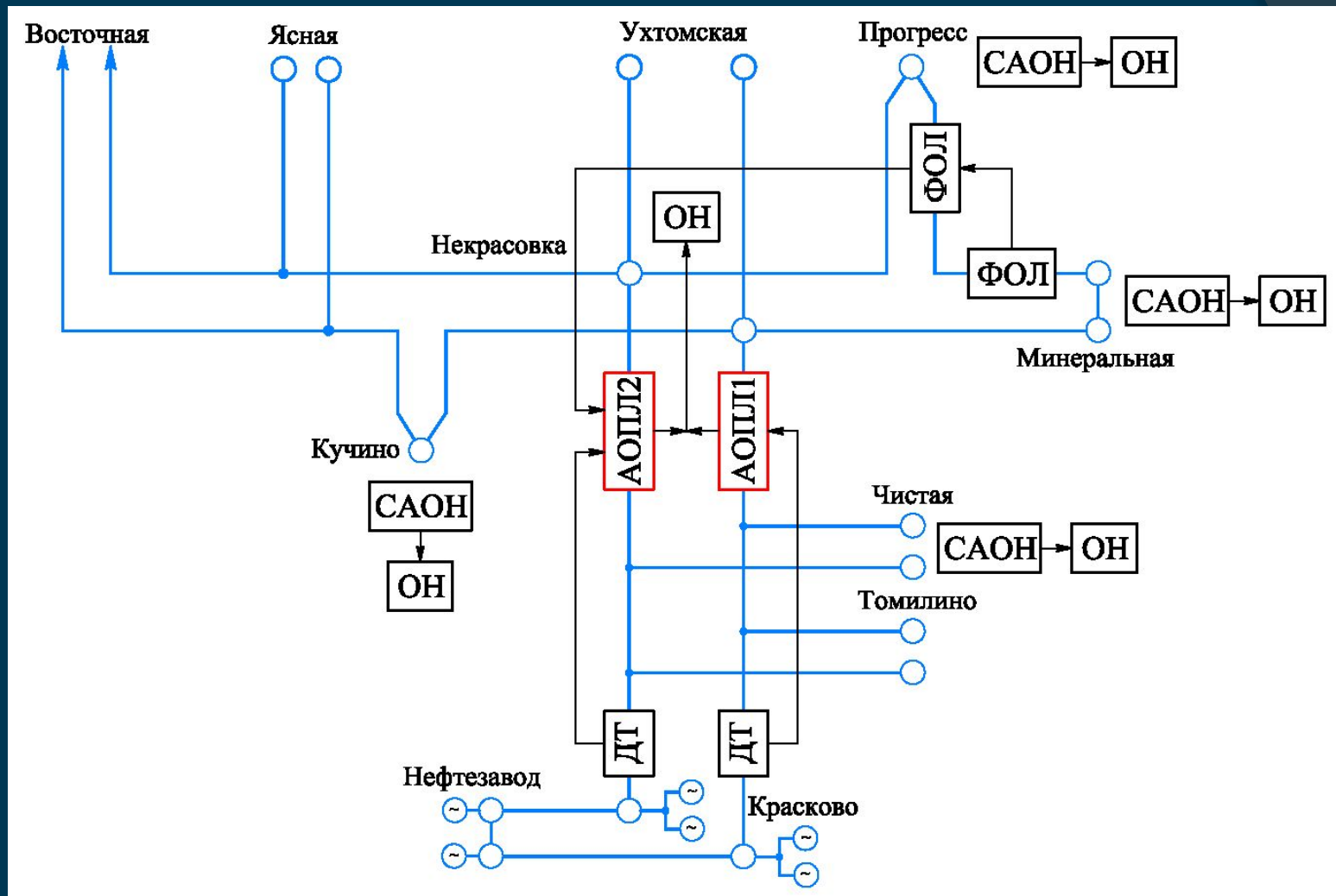
Защищаемые линии:

- ◆ 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

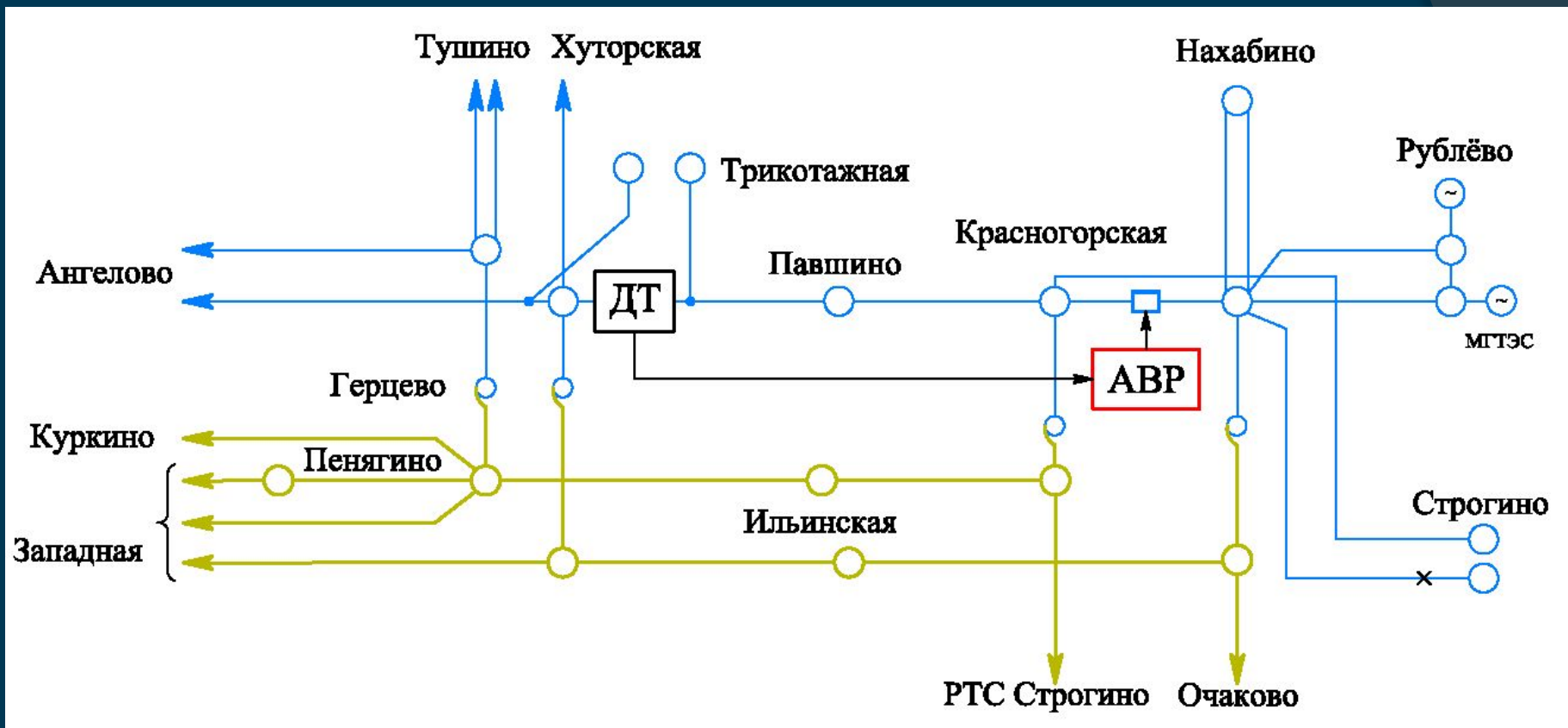


Защищаемые линии:

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



АОПЛ ПС КРАСНОГОРСКАЯ



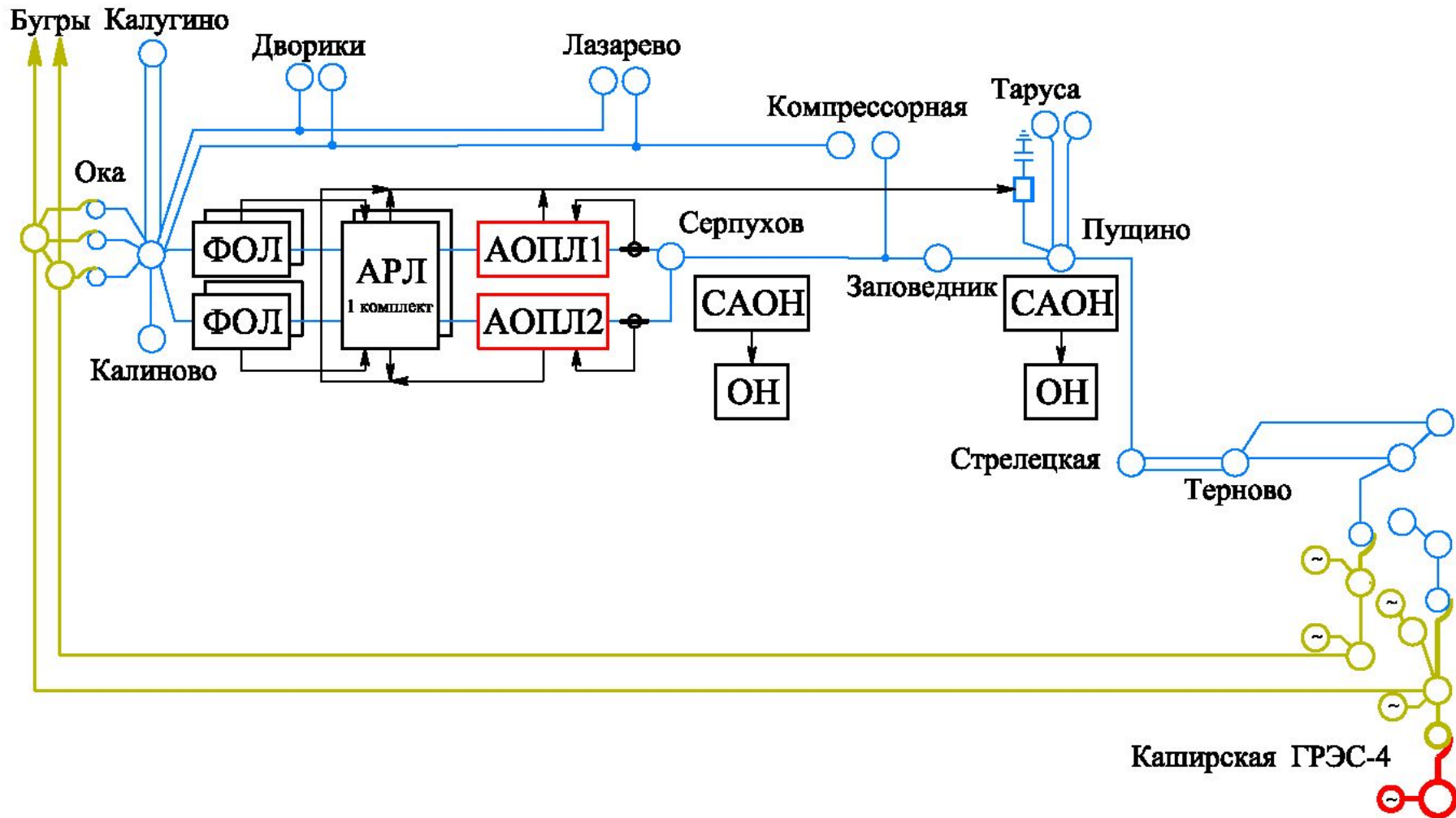
Защищаемые линии:

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





АОПЛ ПС СЕРПУХОВ



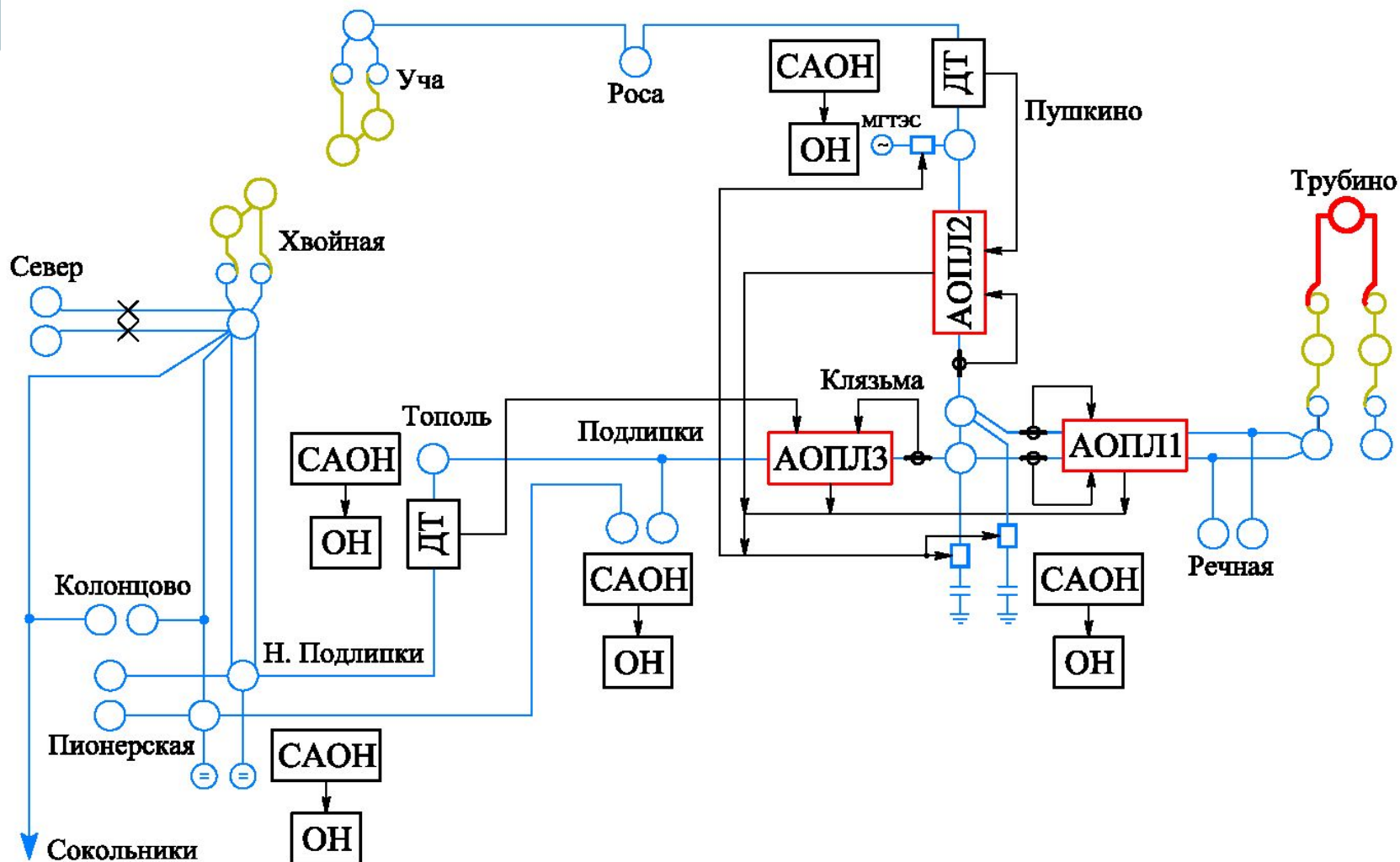
Защищаемые линии:

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





АОПЛ ПС КЛЯЗЬМА

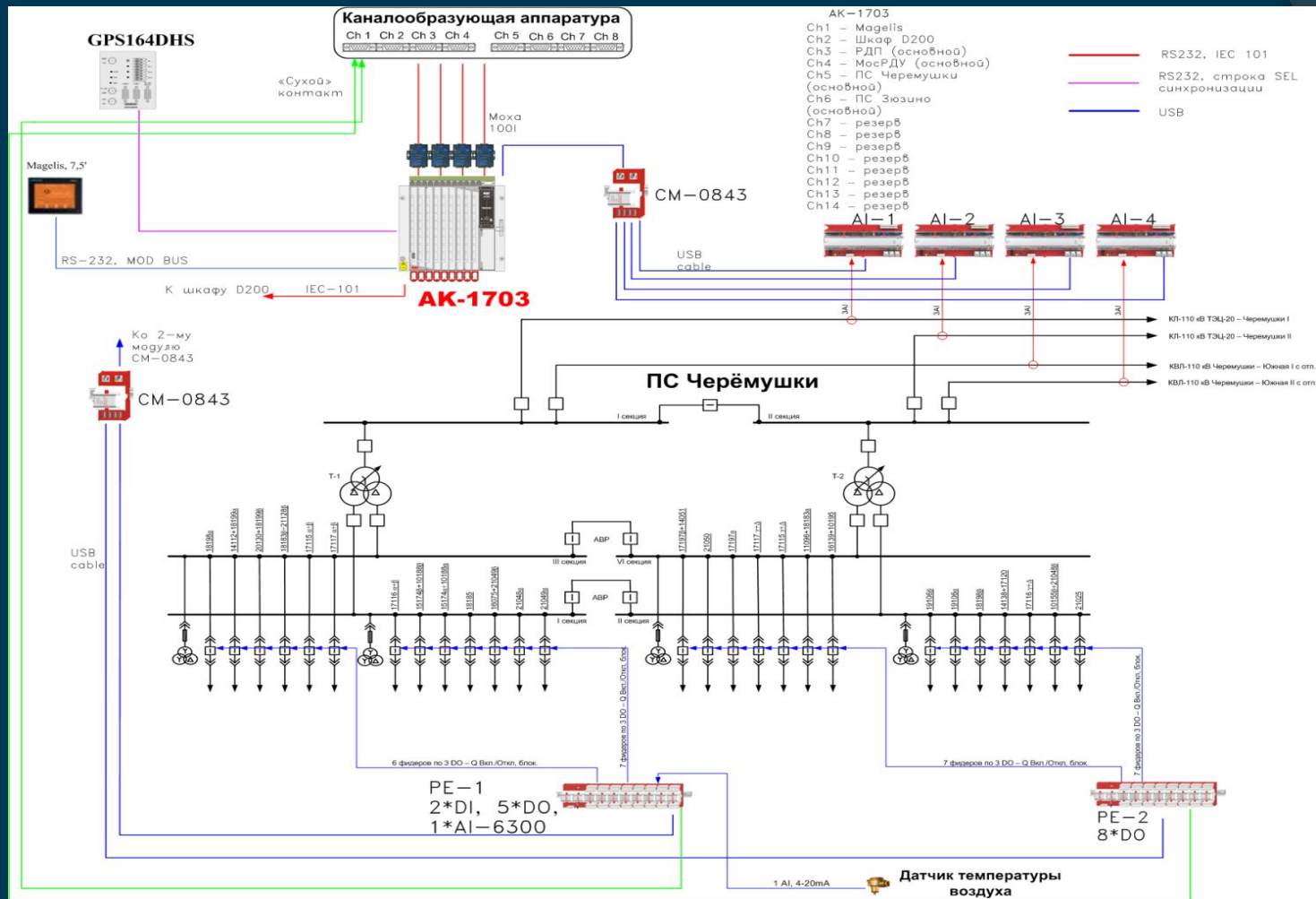


Защищаемые линии:

- ◆ 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

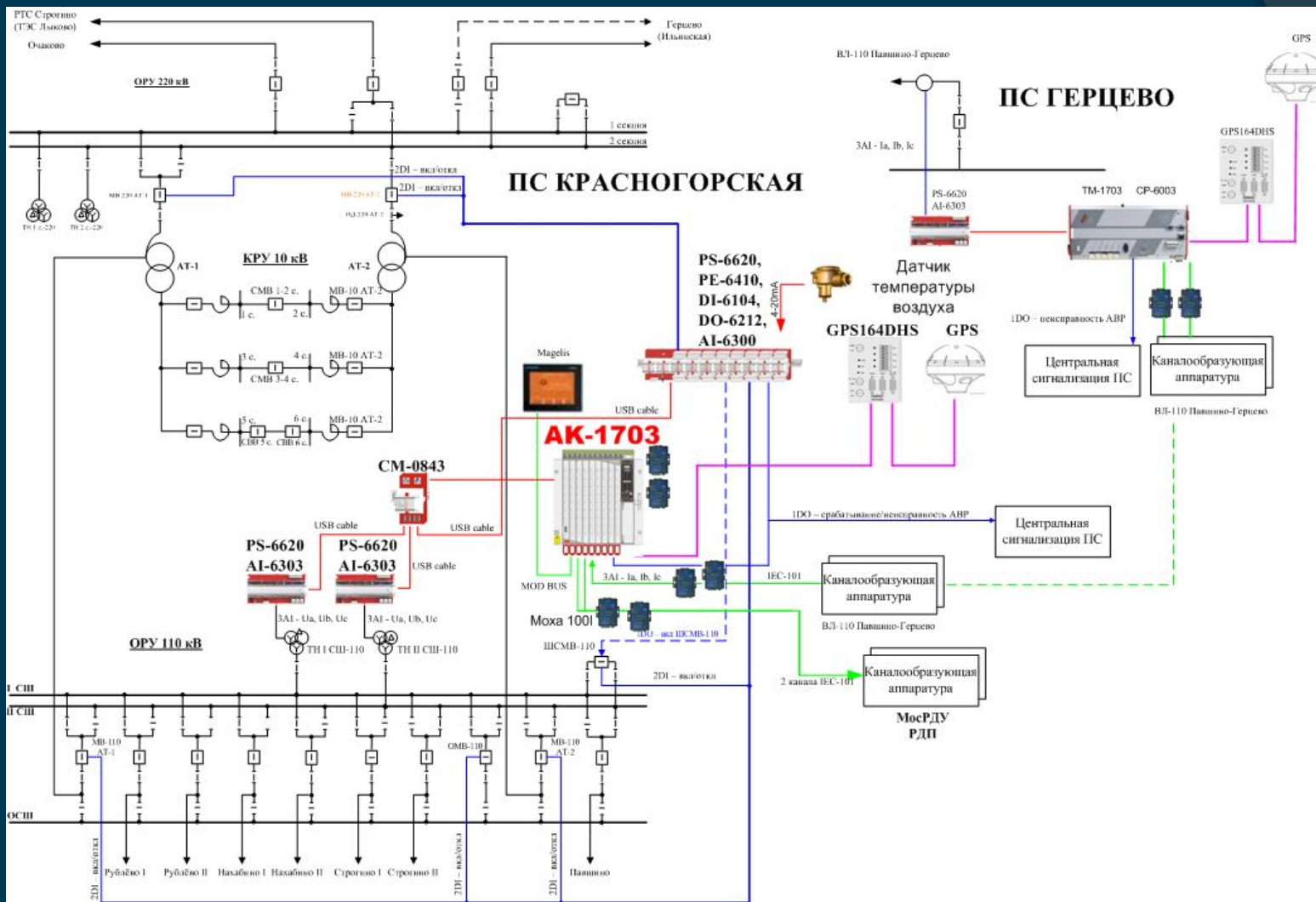


- + 2 независимых канала связи = управляющее воздействие 1
- + степени не введено
- + достоверизация измерений тока – (причина – различные собственники)





РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АОПЛ НА ПС КРАСНОГОРСКАЯ



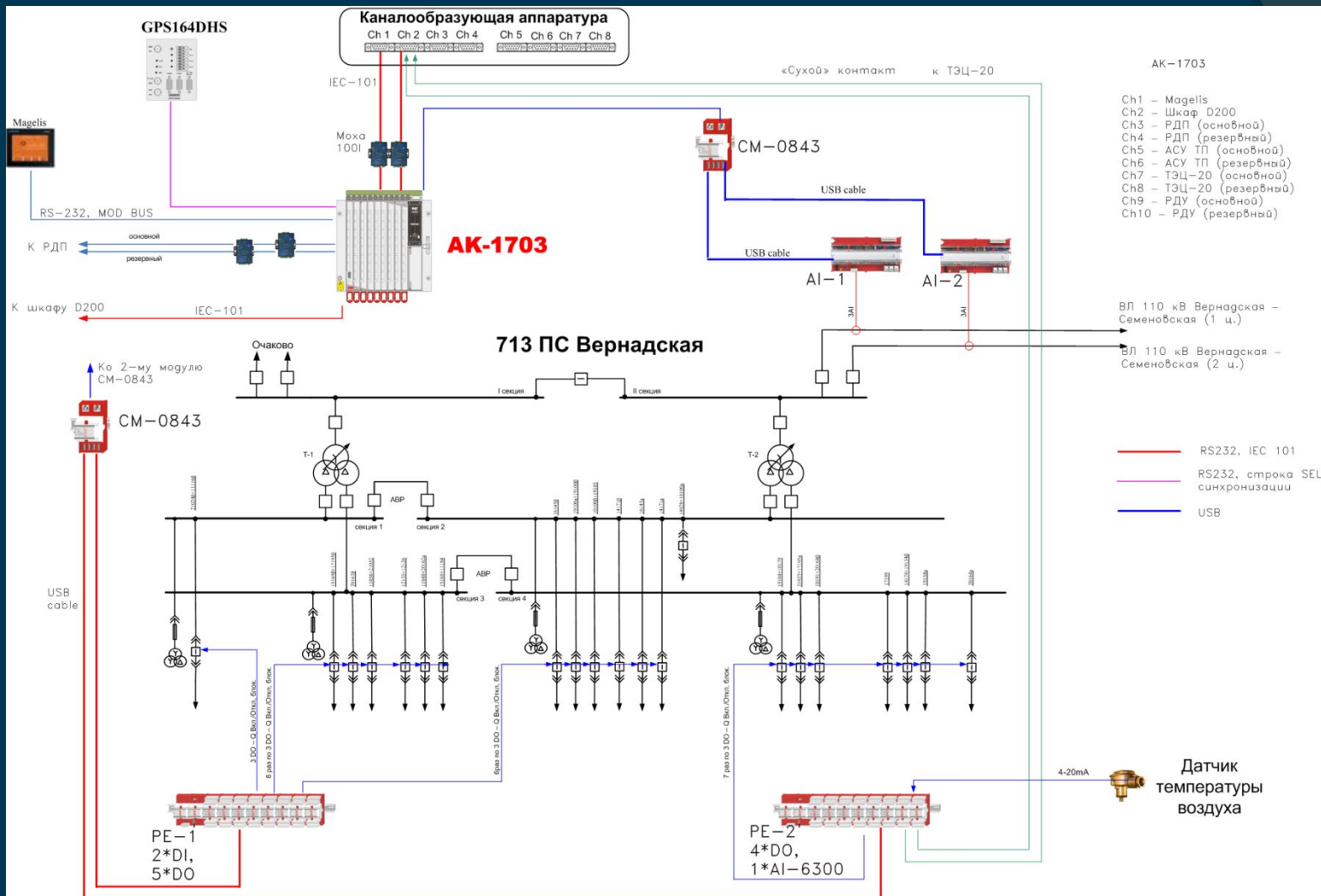
- + 2 независимых канала связи
- + достоверизация измерений тока
- + сенсорная панель – АРМ

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!