



Научно-технический центр  
Единой энергетической системы

# ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

---

Казань, 2023



## Актуальность

По статистике около 50% случаев нарушения нормальной работы технологических установок промышленных предприятий произошли по причине аварийных ситуаций в:

- ✓ Электрических сетях, формирующих схему внешнего электроснабжения (110-220 кВ);
- ✓ Электрических сетях, формирующих электротехническую систему (ЭТС) предприятия (6-10 кВ).



# Состав работ

## Аналитическая часть:

Статистика по нарушениям нормальной работы электрооборудования, обслуживающего технологические установки за 3-5 лет:

- Определение наиболее чувствительных позиций в ЭЭС предприятий к нарушениям электроснабжения;
- Определение «слабых мест» в схемах внешнего и внутреннего электроснабжения исследуемого предприятия;
- Подбор материалов для верификации цифровых моделей (моделирование аварии в электрических сетях 6-220 кВ в ПВК и сравнение результатов тестового расчёта со статистической информацией);

Выполнение анализа карт уставок срабатывания релейных защит сетевых элементов, формирующих схемы внешнего и внутреннего электроснабжения.



# Состав работ

## **Подготовка к расчётной части:**

Формируется цифровая модель для расчётов:

- Электрических режимов и статической устойчивости;
- Электромеханических переходных процессов;

Размерность модели – **от 600 узлов:**

## **Схема внешнего электроснабжения:**

- ❖ подробное представление электрических сетей 35 – 500 кВ региональной энергосистемы, к которой примыкает исследуемая ЭТС (при необходимости и соседние энергосистемы);
- ❖ подробное представление генерирующего оборудования электростанций региональной энергосистемы, к которой примыкает исследуемая ЭТС;

## **Схема внутреннего электроснабжения:**

- подробное представление электрических сетей 6-10 кВ ЭТС предприятия;
- подробное представление двигателей 6-10 кВ;
- подробное представление генерирующего оборудования ЭТС предприятия (при наличии);
- подробное представление двигателей 0,4 кВ мощностью 400 кВт и более;



# Состав работ

## Расчётная часть:

**Выполняются расчёты электрических режимов и статической устойчивости, по результатам которых:**

- Оценивается регулировочная способность трансформаторного оборудования исследуемой ЭТС;
- Оценивается достаточность/недостаточность объёмов СКРМ в исследуемой ЭТС;
- Формируются рекомендации по:
  - ✓ ведению электрических режимов;
  - ✓ увеличению объёмов СКРМ в ЭТС предприятия;
  - ✓ усилению электрических сетей 6-10 кВ ЭТС предприятия;
- Определяется пропускная способность электрических сетей ЭТС предприятия (оценивается объём нагрузки, который можно подключить к существующим электрическим сетям предприятия, без ущерба для действующего оборудования).



# Состав работ

## Расчётная часть:

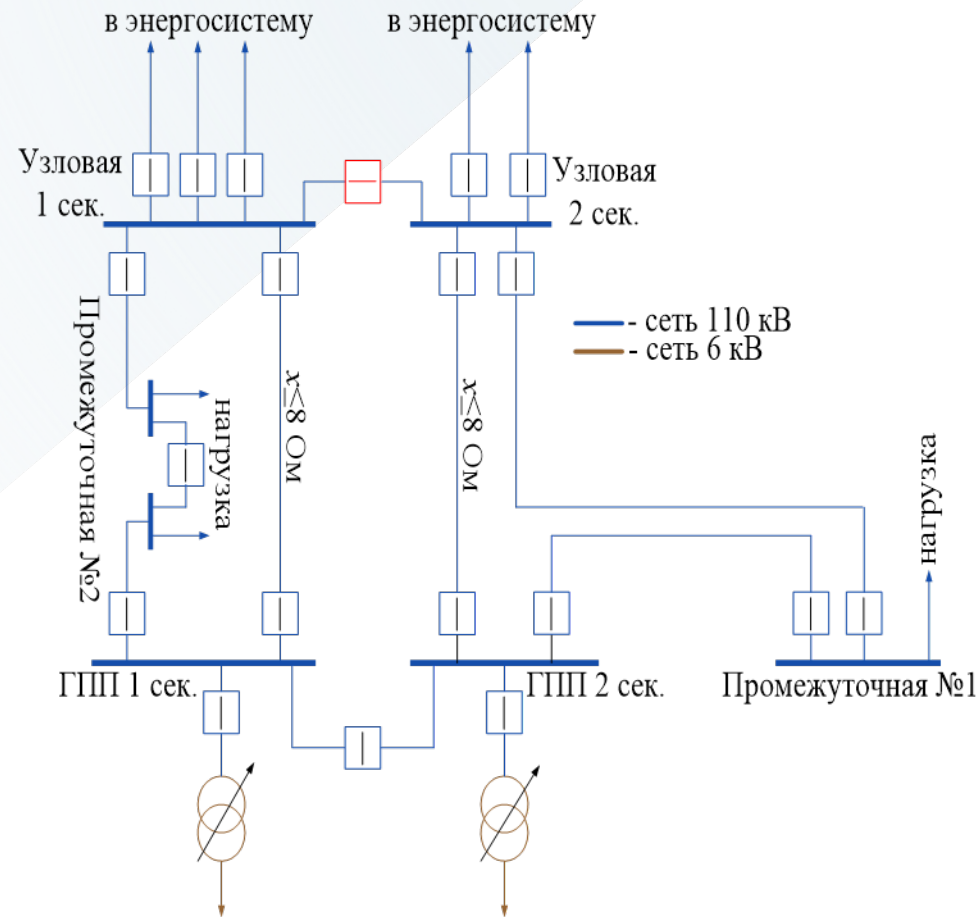
### **Выполняются расчёты электромеханических переходных процессов:**

- Оценивается независимость вводов 35-220 кВ ГПП исследуемого предприятия;
- Определяется предельное время существования короткого замыкания в схемах внешнего и внутреннего электроснабжения электрооборудования, обслуживающего технологические установки предприятия;
- **Формируются рекомендации по:**
  - ✓ корректировке уставок срабатывания релейных защит в электрических сетях 6-10 кВ предприятия;
  - ✓ техническому перевооружению ячеек:
    - 110-220 кВ ЛЭП 110-220 кВ, формирующих схему внешнего электроснабжения исследуемого предприятия (релейные защиты, выключатели);
    - 6-10 кВ ЭТС предприятия;
  - ✓ корректировке уставок срабатывания АВР в ЭТС предприятия;
  - ✓ внедрению в ЭТС предприятия БАВР (оценивается допустимое время изолированной работы части ЭТС от ЭС);
- При необходимости, формируются основные технические решения по:
  - противоаварийной автоматике, действие которой направлено на нормализацию режимных параметров в послеаварийном режиме в исследуемой ЭТС;
  - дополнительным устройствам в ЭТС предприятия, действие которых направлено на нормализацию режимных параметров в аварийных режимах.



# «Типовые» проблемы схем внешнего электроснабжения

- Подавляющее большинство ЭТС промышленных предприятий функционируют в условиях **неудовлетворительной** независимости вводов ГПП.
- Аварии в схеме внешнего электроснабжения чувствуют все потребители ГПП;
- Аварии в сети 6 кВ вызывают провал напряжения только в ближайших к точке КЗ узлах.





# «Типовые» проблемы схем внешнего электроснабжения

**Предельно допустимая длительность КЗ в электрических сетях 110-220 кВ, формирующих схемы внешнего электроснабжения предприятий, по условию обеспечения устойчивости двигательной нагрузки составляет:**

- **0,08 – 0,35 с для трёхфазных КЗ;**
- **>2 с для однофазных КЗ.**

*В соответствии со статистическими данными, в большинстве случаев аварии в электрических сетях 110-220 кВ обусловлены неудовлетворительным состоянием трасс и оборудования ВЛ.*

## Организационные мероприятия

1. Ревизия релейных защит и выключателей в электрических сетях 110-220 кВ, формирующих схемы внешнего электроснабжения ЭТС промышленных предприятий, на предмет их быстродействия;
2. Проведение совместного инженерного обследования ВЛ 110-220 кВ, формирующих схемы внешнего электроснабжения предприятий, представителями заводов и соответствующих сетевых компаний;
3. По результатам выполнения пунктов 1 и 2 формируется программа по техническому перевооружению соответствующих РУ, приведению трасс, опор, линейной арматуры ЛЭП к соответствию требованиям, представленным в нормативной документации.



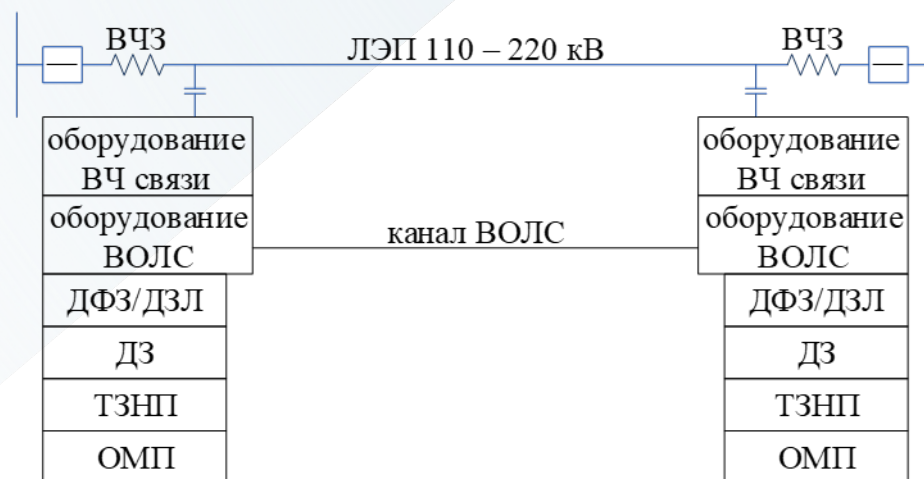


# Техническое перевооружение ячеек 110-220 кВ ЛЭП, формирующих СВЭ предприятия

ЛЭП 110-220 кВ, формирующие схему внешнего электроснабжения промышленных предприятий должны быть оснащены:

- ❖ Основными защитами – ДФЗ/ДЗЛ;
- ❖ Резервными защитами – ДЗ, ТЗНП;
- ❖ Быстродействующими выключателями 110-220 кВ;
- ❖ Автоматическими определителями места повреждения линии.

После реализации технического перевооружения ячеек 110-220 кВ время существования КЗ должно находиться в диапазоне  $t_{рз} + t_{выкл} \leq (0,08 - 0,12) \text{ с}$





# «Типовые» проблемы, в схемах внутреннего электроснабжения

## Схемы

- Широкое использование магистральных схем подключения электроприёмников I и II категорий, имеющих в своём составе двигательную нагрузку (при расширении ЭТС не реализован перевод схемы на «радиальную»).

## Оборудование

- Устаревшее коммутационное оборудование в РП 6-10 кВ;
- Устаревшее трансформаторное оборудование в ТП-6 (10)/0,4 кВ;
- Устаревшее кабельное оборудование;

## Релейные защиты

- Устаревшая элементная база релейных защит в РП и ГПП 6-10 кВ;
- Некорректные значения уставок защиты минимального напряжения двигателей, приводящие к частому и необоснованному их отключению;

## Качество электроэнергии

- Наличие в сетях 0,4-10 кВ гармонических составляющих, при отсутствии требуемого объёма компенсации. Данное обстоятельство не позволяет включать в работу большинство имеющихся на предприятиях УКРМ.



## Рекомендации по корректировке схем внутреннего электроснабжения ЭЭС предприятий

При **неудовлетворительной** независимости вводов ГПП предприятий, для сокращения количества потребителей, чувствительных к КЗ в схемах **внутреннего электроснабжения**, при строительстве и реконструкции сетевого комплекса рекомендуется соблюдать следующие условия:

- При новом строительстве и реконструкции внутризаводских электрических сетей применять **радиальные схемы**. При необходимости в радиальных схемах могут присутствовать переключательные пункты.
- Сети 0,4-35 кВ, формирующие схему внутреннего электроснабжения промышленного предприятия должны быть секционированы на всех ступенях распределения (ГПП→РП→ТП).
- Подключение системы возбуждения и статора СД к одной секции позволит снизить чувствительность агрегата к аварийным ситуациям в схеме внутреннего электроснабжения (аварии в схеме внутреннего электроснабжения носят локальный характер).



## Рекомендации по корректировке схем внутреннего электроснабжения ЭЭС предприятий

Распределительные устройства подстанций, входящих в состав схемы внутреннего электроснабжения предприятия, к которым подключены потребители I и II категории по обеспечению надёжности электроснабжения должны удовлетворять следующим требованиям (для двух трансформаторной ТП):

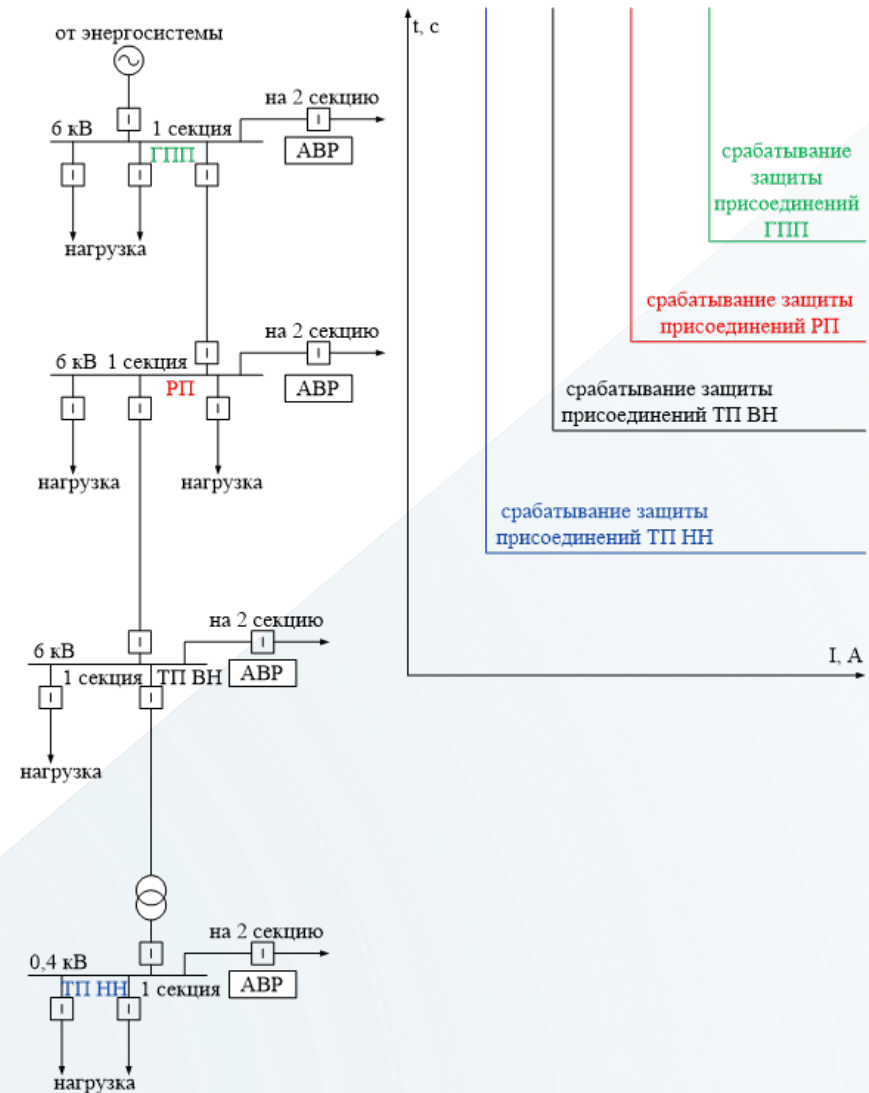
- выключатели и разъединители в цепях вводов должны быть рассчитаны на длительную нагрузку по току, соответствующую режиму питания всех потребителей, подключенных к данному РП/ТП от одного ввода (один из двух вводов отключен, секционный выключатель включен;  $I_{\text{ном.}} = \sum I_{\text{ном.нагр.1 секции}} + \sum I_{\text{ном.нагр.2 секции}}$ );
- секционный выключатель и разъединитель должны быть рассчитаны на нагрузку по длительно-допустимому току секции рассматриваемого РП/ТП, от которой запитано наибольшее количество потребителей ( $I_{\text{ном.}} = \sum I_{\text{мах.ном секции}}$ );
- каждый трансформатор ТП должен быть выбран из расчёта нагрузки 60-70%;
- все ячейки рассматриваемого РП должны быть оборудованы выключателями и комплектами релейных защит (на низком и на высоком напряжении);
- комплекты релейных защит во всех ячейках должны быть одного типа и одной модификации (в эксплуатации встречаются случаи, когда длительное время в одном РУ РП или ТП эксплуатируются одновременно микропроцессорные защиты и защиты на базе электромеханических реле);
- цифровые терминалы релейных защит должны быть защищены от случайного внесения изменений уставок (диалоговое окно, в котором возможно реализовать изменение уставок должно вызываться только специальным ключом);



# Рекомендации по организации работы релейных защит и автоматик в ЭЭС предприятий

Релейные защиты должны выполняться в соответствии с рекомендациями, приведёнными в пунктах 3.2.93, 3.2.94 ПУЭ.

Уставки срабатывания релейных защит (токовых) в ЭЭС предприятий должны задаваться таким образом, чтобы при КЗ на линии в первую очередь отключалось присоединение на более низкой ступени распределения (ГПП→РП→ТП).





## Рекомендации по организации работы релейных защит и автоматик в ЭЭС предприятий

- С целью повышения надёжности электроснабжения потребителей ЭЭС предприятий, необходимо организовывать работу АВР по принципу «сверху вниз». Для реализации предлагаемой логики работы АВР необходимо провести отстройку по времени АВР уровня РП от АВР уровня ГПП ( $t_{\text{ПО АВР ГПП}} < t_{\text{ПО АВР РП}}$ ), АВР уровня ТП, в свою очередь должен быть отстроен от АВР уровня РП. Кроме того, при реализации АВР необходимо учитывать рекомендации, приведённые в пунктах 3.3.34, 3.3.35, 3.3.41 ПУЭ;
- При невозможности самозапуска всех двигателей, необходимых для обеспечения безостановочной работы технологических установок целесообразно реализовать внедрение автоматики повторного пуска (АПП);
- В ЭЭС, где синхронные двигатели работают в режиме с  $\cos\varphi=1$  необходимо уделять особое внимание исправности устройств РПН понизительных трансформаторов. При реконструкции головных подстанций необходимо устанавливать только оснащённые РПН понизительные трансформаторы;
- Секции РУ 6-10 кВ, к которым подключены электродвигатели с частотно-регулируемыми приводами должны быть оснащены постоянно работающими устройствами по подавлению гармонических составляющих напряжения.



## Рекомендации по организации работы релейных защит и автоматик в ЭЭС предприятий

Секции ТП, к которым подключены источники гармоник, должны быть оснащены устройствами для подавления гармонических составляющих напряжения до уровня, регламентированного ГОСТ 32144-2013.

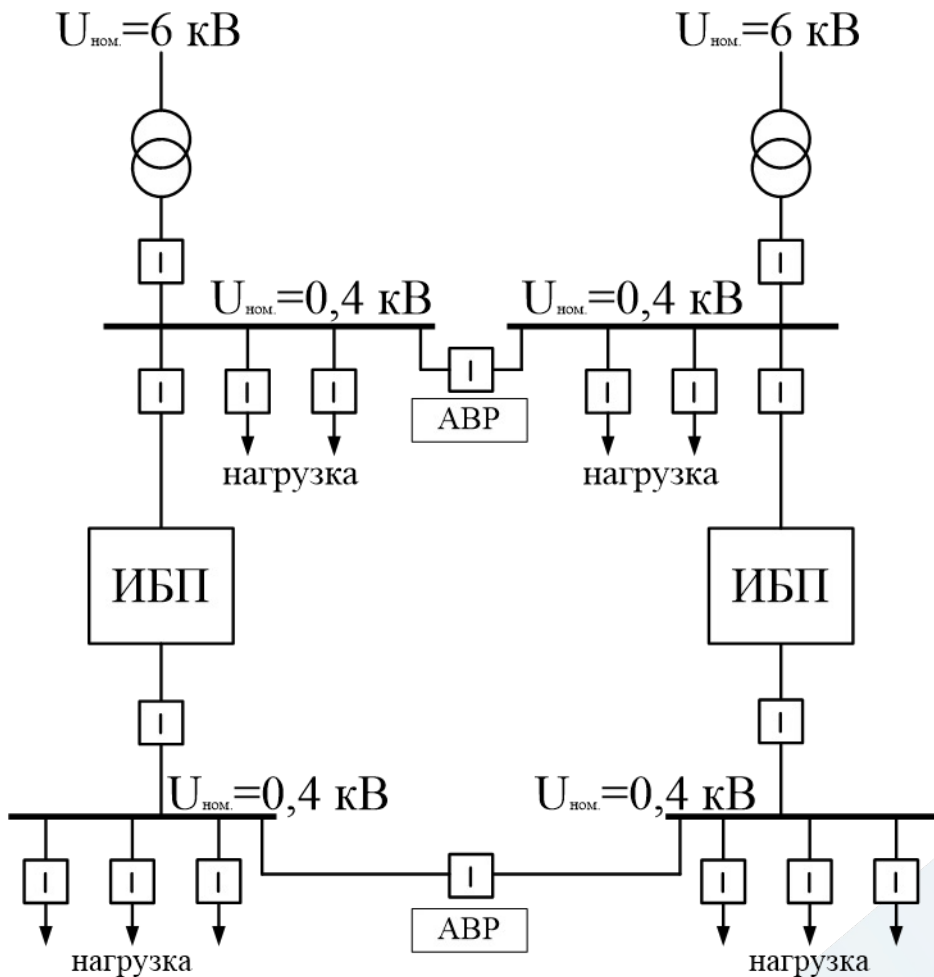
Наиболее значительные по величине гармоники в ЭЭС предприятий нефтепереработки генерируют :

- устройства регулирования скорости вращения двигательного оборудования на базе преобразовательной техники;
- сварочные агрегаты.

**Отсутствие средств подавления гармоник, часто является причиной запрета на включение СКРМ в ЭЭС предприятия.**



## Дополнительное оборудование, устанавливаемое в ЭТС предприятий



Практически на каждом предприятии существуют потребители, отнесённые к особой группе, остановка которых при любых авариях во всех возможных схемно-режимных условиях должна быть **исключена**.

В условиях неудовлетворительной независимости вводов наиболее оптимальным решением является установка ИБП в электрических сетях 0,4 кВ, входящих в ЭТС предприятия.

Предпочтительно устанавливать ИБП в цепи обоих вводов особой группы потребителей.





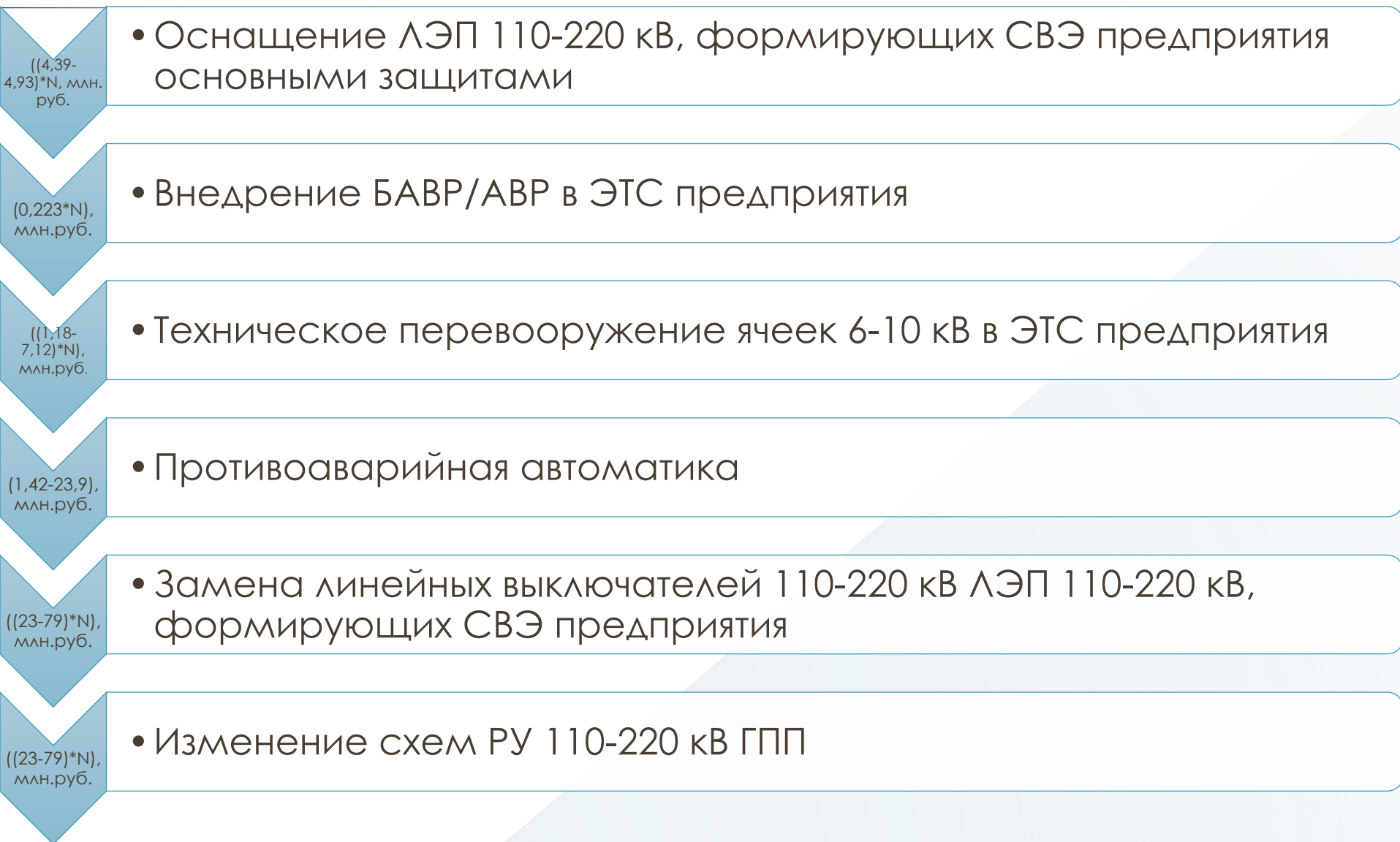
## Дополнительное оборудование, устанавливаемое в ЭЭС предприятий

При выборе ИБП необходимо учитывать следующие факторы:

- ❖ инерционные свойства нагрузки;
- ❖ длительность вероятных перерывов электроснабжения;
- ❖ вероятность режимов работы, в которых обе секции 0,4 кВ будут подключены к одному ИБП (включен СВ 0,4 кВ двух трансформаторной ТП, к обоим секциям которой подключены потребители особой группы);
- ❖ схема подключения ИБП должна исключать реверс мощности (ИБП – внешняя сеть).



## Усреднённая технико-экономическая эффективность мероприятий





## О нормативной документации

В настоящее время наиболее чётко критерии независимости вводов определены в НТП ЭПП-94.

В указанном документе предъявляются требования к режимным параметрам не только в послеаварийных, но и в аварийных режимах. При проектировании схем внешнего электроснабжения промышленных предприятий, необходимо помимо ПУЭ, ПТЭ потребителей и ПТЭ электрических станций и сетей РФ также руководствоваться и НТП ЭПП-94.



## Опыт АО «НТЦ ЕЭС»

- В интересах ПАО «Газпромнефть» - «Обследование и разработка проекта повышения надёжности схемы электроснабжения ГПП-1 и ГПП-2 ОАО «Газпромнефть-МНПЗ»».
- В интересах ПАО «Транснефть» - «Повышение надежности внешнего электроснабжения НПС «Мелковка», «Суходольная», «Степаньково».
- В интересах ПАО «НК «Роснефть» - «Оценка эффективности предложенных схемотехнических решений и расчет показателей надежности защиты технологического оборудования двух предприятий нефтепереработки от провалов напряжения».
- В интересах ТОО «Тенгизшевройл» - «Исследование возможности подключения энергосистемы ТШО к электросетям компании КЕГОК.
- В интересах ЗАО «РН-Энергонепфть» - «Проведение расчетов и определение оптимальных параметров настройки регуляторов возбуждения генераторов Ванкорской ГТЭС».
- В интересах АО «Газпром электрогаз» - «Разработка проектной документации в части: «Расчетов и согласования электроэнергетических режимов» в составе объекта: «Реконструкция объектов энергообеспечения Астраханского ГПЗ».
- В интересах ПАО «Газпром» - «Исследование динамической устойчивости нагрузки завода по производству сжиженного природного газа для первой фазы развития Штокмановского газоконденсатного месторождения».



Научно-технический центр  
Единой энергетической системы

# Благодарю за внимание!

---

АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы»

Россия, 194223, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 1, лит. А,  
этаж 2, офис 202

Телефон: +7 (812) 297-54-10; факс: +7 (812) 552-62-23

E-mail: [ntc@ntcees.ru](mailto:ntc@ntcees.ru)

**[ntcees.ru](http://ntcees.ru)**