



Москва, 29 сентября - 1 октября



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Р. Е. Алексеева

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ 2021**

**АЛ МП**

**АРЗ**  
автоматический расчет  
уставок релейной защиты

**Автоматизация расчета адаптивной многопараметрической релейной защиты для  
реконфигурируемых распределительных сетей**

**М.В. ШАРЫГИН, А.Л. КУЛИКОВ, А.А. ФАЛЬКОВ**

**НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ООО НПП АЛИМП**

**Россия**

**докладчик: ШАРЫГИН Михаил Валерьевич**



ООО НПП АЛИМП (<https://alimp.org/>)



# АЛ МП



Устройства РЗА 6- 220 кВ с гибкой архитектурой и МЭК 61850.  
Пройдена аттестация ПАО Россети.

**Наш коллектив удостоен премии Правительства РФ 2020 г.**  
за разработку инновационных технологий для цифровых  
электросетей

Компания разрабатывает и производит многофункциональные устройства для релейной защиты и автоматики (РЗА):

- ✓ импортозамещение (процессоры «Эльбрус»)
- ✓ киберзащищенность
- ✓ полная поддержка МЭК 61850
- ✓ независимость ПО от аппаратного исполнения
- ✓ динамичная архитектура ЦПС
- ✓ быстрая разработка любых алгоритмов
- ✓ готовность к цифровым сетям и SmartGrid



## Решаемая проблема

- Концепция ПАО "Россети" «Цифровая трансформация 2030». М. 2018;
- Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г.;
- СТО 34.01-21-004-2019 «Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110–220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ»;
- СТО 34.01-21-005-2019 «Цифровая электрическая сеть. Требования к проектированию цифровых распределительных электрических сетей 0,4-220 кВ».



Все короткие замыкания в электросети распознаются специальными устройствами - релейной защитой (РЗ). **Устройства РЗ устанавливаются почти на каждом выключателе**, образуя систему релейной защиты всей электросети (более 1 млн. шт. только в РФ).

Из-за высокой сложности **все расчеты параметров срабатывания РЗ до сих пор выполняются человеком**, а используемые программные средства (АРМ РЗА) являются лишь советчиками инженера-релейщика. Один расчет производится не менее нескольких часов и стоит не менее 10 тыс. руб. (экспертная оценка) **За год в РФ производятся десятки-сотни тыс. расчетов уставок.**

### **Факторы, требующие внедрения автоматизации расчета уставок РЗ в сетях 6-35 кВ:**

- 1) «человеческий» фактор:** высокая вероятность ошибок расчета РЗ, высокая длительность расчета, высокая стоимость расчета из-за ручного труда;
- 2) нестабильность расчетных условий:** необходимость регулярного пересчета уставок РЗ из-за реконструкций, изменения нагрузок потребителей, реконфигурации сети, изменения уровней ТКЗ;
- 3) усложнение защит:** быстрая смена поколений устройств РЗ, интерфейсов, внедрение многомерных измерений для повышения чувствительности РЗ;
- 4) нормативные требования\*:** необходима адаптивная РЗА, внедрение высокоавтоматизированных малообслуживаемых ПС, интеллектуального управления режимом цифровых сетей без участия человека;
- 5) развитие SmartGrid:** случайные режимы распределённой генерации и потребителей, непрерывная реконфигурация сети, будут требовать пересчета РЗ всей сети в темпе автоматического управления.

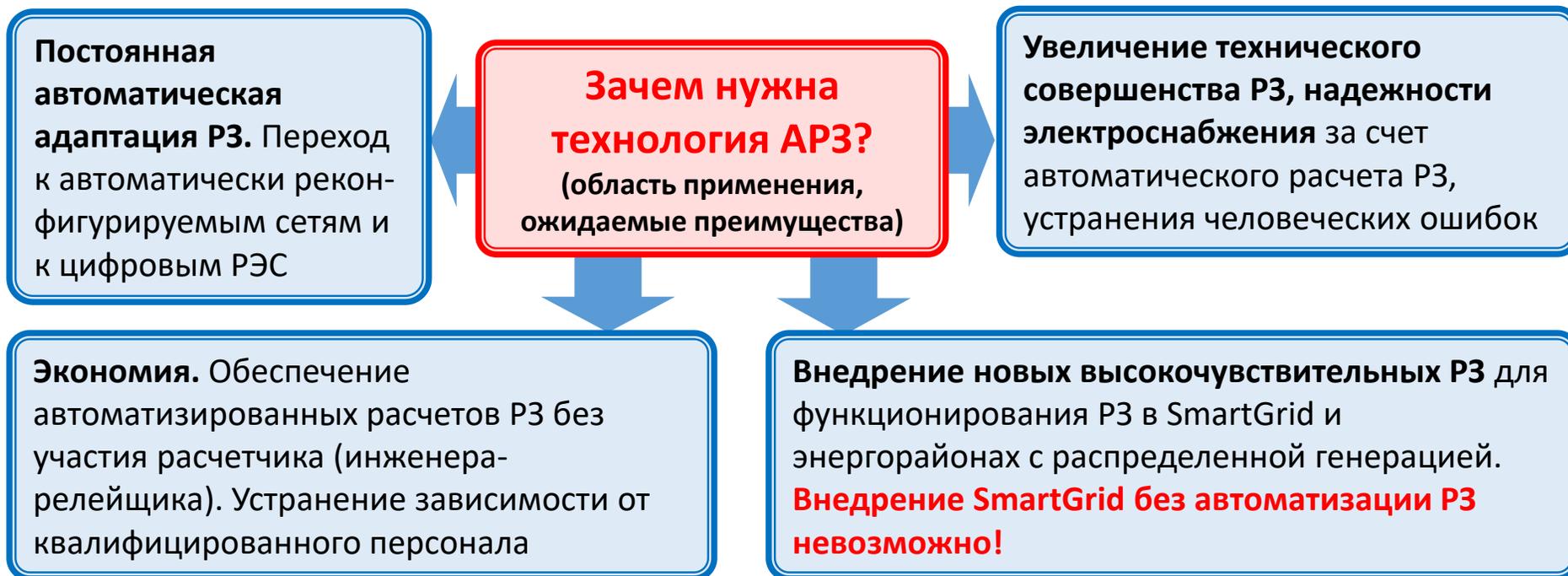
**Старая защита распределительных сетей 6-35 кВ не сможет работать в условиях SmartGrid!**



## Резюме технологии APЗ

**Нами разработана** новая технология автоматического расчета параметров срабатывания (уставок) релейных защит (PЗ) относительной селективности для электросетей 6-35 кВ и SmartGrid (**технология APЗ**). Технология применима к любым PЗ относительной селективности, любой топологии и количеством источников питания.

**Цель технологии:** полная автоматизация расчета уставок релейных защит (PЗ) электросетей и SmartGrid, **переход на безлюдную технологию расчета.**

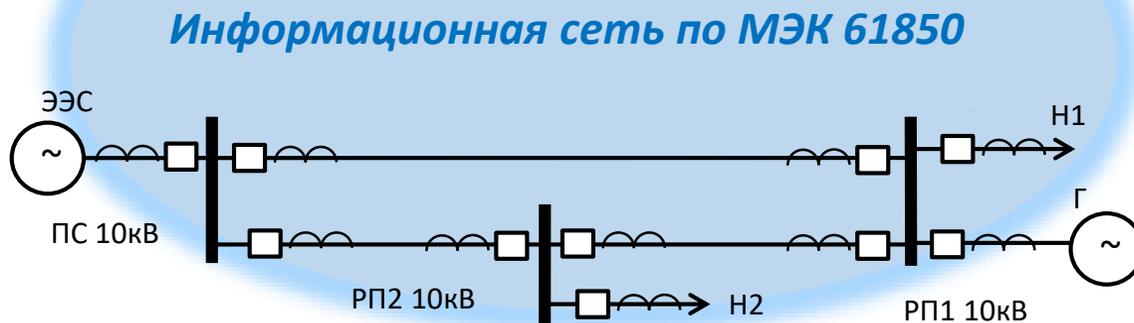




## Предлагаемое решение (АРЗ)

Устройство автоматического расчета  
уставок и согласования защит (АРЗ)  
Виртуальный «цифровой» релейщик

- Все процессы АРЗ происходят без участия человека.
- Возможен расчет традиционных защит (МТЗ, ДЗ) и перспективных высокочувствительных многопараметрических РЗ.
- АРЗ совместима со старыми типами РЗ и не требует полной модернизации распредсети

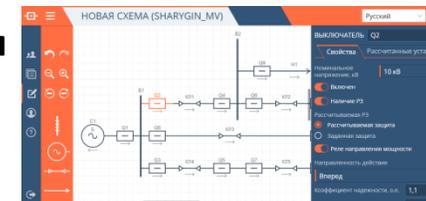


1. Происходят изменения в электрической сети

2. Изменения передаются в устройство АРЗ и оно пересчитывает уставки защит сети

3. Устройство АРЗ передает новые уставки защит в устройства защиты

## Программная часть АРЗ



Создан макет программного комплекса АРЗ на основе клиент-серверных технологий.

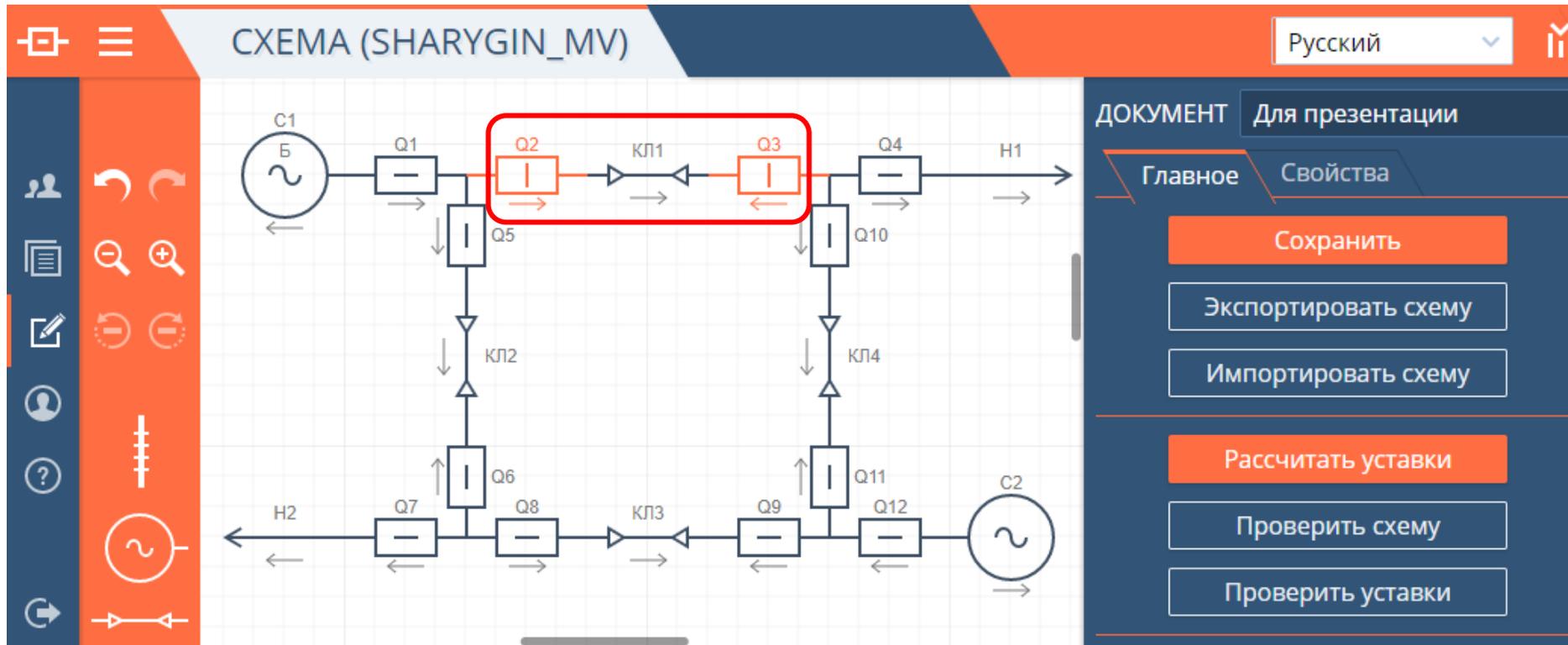
## Аппаратная часть АРЗ и фидерных защит



Разработаны устройства РЗ, поддерживающие прием параметров срабатывания РЗ по протоколу МЭК 61850 и смену уставок без перезагрузки. Разработка устройств велась ООО НПП АЛИМП, НГТУ им. Р.Е. Алексева, АО НИПОМ



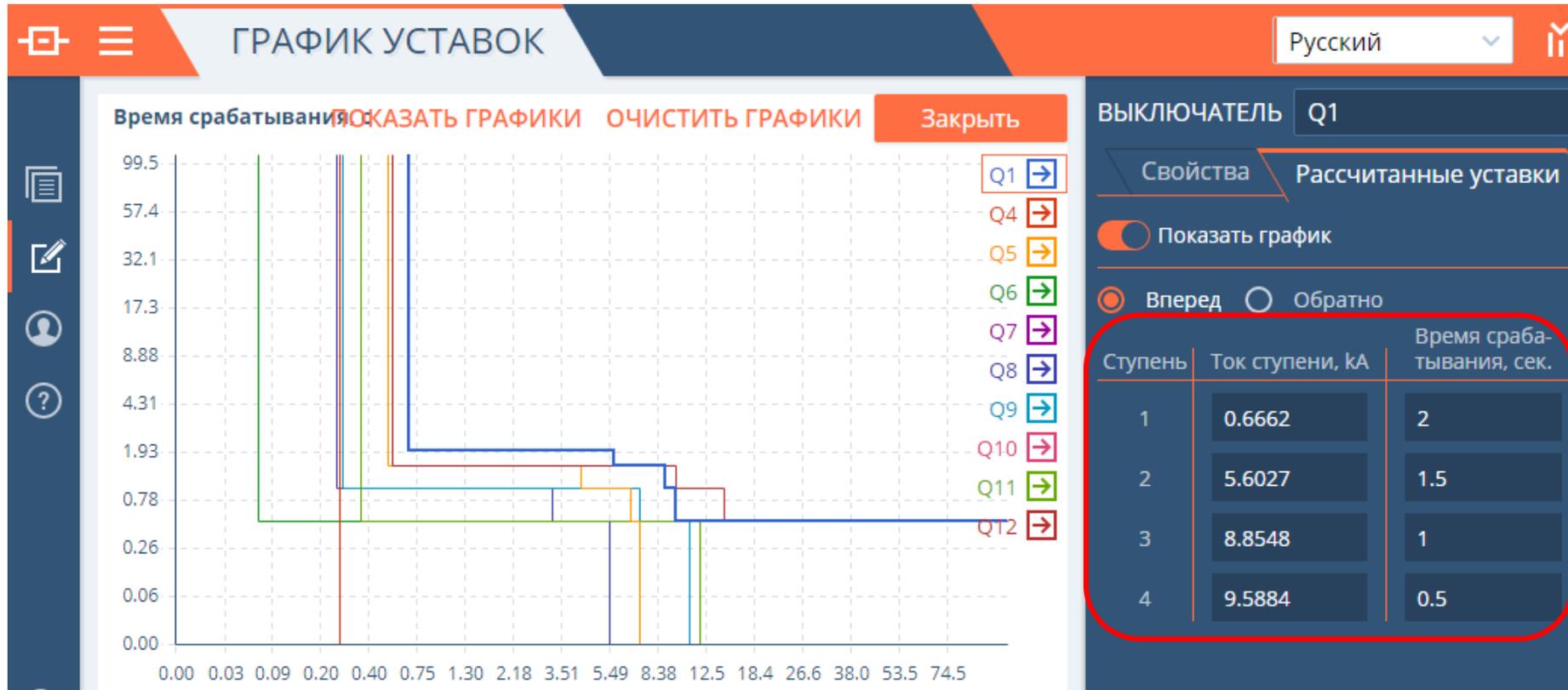
## Пример расчета APЗ



Технология APЗ потенциально применима к любым ступенчатым релейным защитам относительной селективности сетей любой топологии, с любым количеством источников питания.



## Пример расчета АРЗ



Алгоритм расчета уставок РЗ основан на **новом методе распознавания режимов электросети (статистический байесовский подход)**, который максимально полно использует информацию многомерных измерений. Традиционный принцип определения уставок РЗ является частным случаем более общего статистического байесовского метода!



## Инновационный подход к расчету защит

Новые методы распознавания режимов и принятия решений для интеллектуальной РЗА SmartGrid (методы анализа big data)

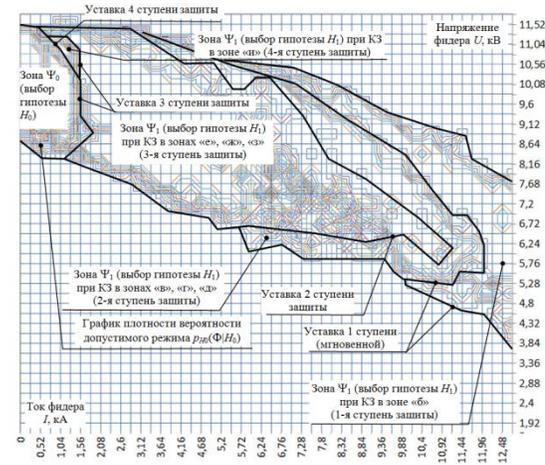
Три прототипа software технологии АРЗ

Методы построения и анализа **многомерных пространств измерений**, принятия решений в РЗА

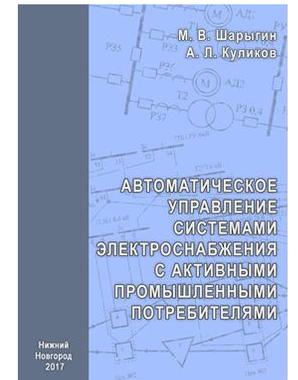
Новые графо-аналитические методы согласования РЗ сети и расчета уставок: автоматическое согласование любых типов ступенчатых защит между собой

Впервые разработаны:

За 10 лет изысканий опубликовано 3 монографии, более 100 статей, 6 патентов, защищена дисс. д.т.н.



Высококачественная двумерная релейная защита



Новая многопараметрическая РЗ не отрицает, а развивает и обобщает принципы традиционных защит МТЗ и ДЗ. Многопараметрическая РЗ при измерении только тока становится аналогична МТЗ, при измерении только сопротивления – ДЗ.



## Сравнение АРЗ с аналогами (АРМ РЗА)

### Преимущества АРЗ



Экономия на персонале и устранение человеческих ошибок



Внедрение новых сложных высокочувствительных РЗ



Увеличение технического совершенства РЗ, надежности электроснабжения



Постоянная автоматическая адаптация РЗ для SmartGrid

Традиционным и единственным средством автоматизации расчета уставок РЗ являются рабочие места инженера-релейщика (АРМ РЗА): АРМ СРЗА, ПВК АРУ РЗА, PF.Protection, CAPE, PowerFactory и др.

Но все АРМ являются только советчиками инженера-релейщика и не дают готового решения по уставкам системы РЗ. Кроме того, АРМ применимы только к традиционным РЗ и не применимы к перспективным высокочувствительным многопараметрическим РЗ. Поэтому АРМ не являются прямыми конкурентами АРЗ, а в условиях будущих SmartGrid технология АРЗ пока безальтернативна.

Таблица сравнения характеристик АРЗ и АРМ РЗА

Параметр	АРЗ	АРМ РЗА
Степень автоматизации расчета уставок РЗ	Максимальная	Низкая (АРМ)
Поддержка перспективных многопараметрических защит	есть	нет
Применимость к интеллектуальной РЗ SmartGrid	есть	нет

### Виртуальный «цифровой» релейщик:

Разработанная технология АРЗ безлюдная и впервые позволяет производить расчет параметров срабатывания (уставок) релейных защит относительной селективности в полностью автоматическом режиме для распределительных сетей 6-35 кВ



## План развития технологии АРЗ

### Пилотный продукт (software АРЗ)

**2022-2023 г.**  
Разработка **промышленной версии software** автоматического расчета уставок основных токовых защит сетей 6-35 кВ и его опытная эксплуатация

- Опытная эксплуатация в службе РЗА
- Гос. регистрация программного продукта
- Детальное тех. задание на дальнейшее развитие

### Совершенствование software АРЗ

**2024 г.**  
Внедрение в продукт **дистанционных защит** сетей 6-35 кВ и поддержки SIM-моделей

- Проведение НИОКР по: оптимизации вычислений, внедрению дистанционных защит, многомерных защит, универсальных многомерных пусковых органов
- Внедрение в продукт поддержки SIM-модели электросети и РЗ
- Интеграция продукта с АРМ инженера-релейщика

**2025 г.** Внедрение в продукт **высоко-чувствительных многопараметрических защит** сетей 6-35 кВ

### Программно-аппаратный комплекс АРЗ (software + hardware ПАК АРЗ)

**2026 - 2028г.** Разработка **системы интеллектуальной защиты электросети 6-35 кВ**: программно-аппаратного комплекса РЗ с **полноценной поддержкой безлюдной технологии АРЗ** (автопараметрирование и самоадаптация РЗ при сменах режимов и конфигураций сети) и новых высокочувствительных РЗ.

**Полная готовность к внедрению в цифровые РЭС и Smart Grid!**

- Проведение НИОКР по разработке ПАК АРЗ
- Внедрение в ПАК АРЗ протоколов системы связи МЭК61850
- Маркетинговые исследования
- Сертификация и аттестация ПАК АРЗ в Россетях и в области информационной безопасности
- Тиражирование ПАК АРЗ в цифровых РЭС



## Предполагаемые этапы развития РЗ смартгрид и распределителей 6-35 кВ

	Текущая ситуация	1 этап (начальный)	2 этап	3 этап	4 этап
Основная РЗ	МТЗ, дист. РЗ	Переход на продольную диф. РЗ с каналом связи по МЭК 61850 (линий, шин, тр-ров, ..) <u>Достижимые цели:</u> переход на ДифЗ резко увеличит быстродействие и чувствительность основной РЗ, динамическую устойчивость нагрузок и генераторов	Переход на дифференциально-логическую РЗ с каналом связи по МЭК 61850 <u>Достижимые цели:</u> автоматически конфигурируемая и адаптируемая основная защита всей сети; резервирование распознаваемых отказов выключателей, ТТ, устройств РЗ будет выполняться также дифференциальной защитой	Переход на полностью автоматически функционирующую систему РЗ Plug&Play <u>Достижимые цели:</u> экономия на квалифицированном персонале за счет автопараметрирования устройств РЗ и адаптации системы РЗ при сменах режимов и конфигураций сети; повышение надежности электроснабжения потребителей за счет увеличения технического совершенства РЗ	Переход на полностью автоматическую систему оптимального управления режимами сети с учетом затрат и ущерба потребителей и энергокомпаний <u>Достижимая цель:</u> принятие оптимальных решений по управлению режимами по критерию минимума затрат и ущерба (или по иному заданному критерию)
Резервная РЗ	МТЗ, дист. РЗ	Переход на многопараметрическую защиту относительной селективности с универсальным многомерным пусковым органом <u>Достижимые цели:</u> значительное увеличение чувствительности и быстродействия резервной РЗ за счет применения наиболее информативных признаков режима и динамического изменения пускового органа. Адаптация устройств защиты к отказам отдельных ТТ, ТН			
Автоматический расчет уставок РЗ (АРЗ)	Нет	<b>Автоматический расчет уставок МТЗ, ДЗ, многопараметрической защиты в темпе управления процессами</b> <u>Достижимые цели:</u> увеличение чувствительности и быстродействия резервной РЗ за счет быстрой адаптации к новой конфигурации и режиму сети; устранение человеческих ошибок			



**Интеллектуальная  
высокочувствительная  
безлюдная  
адаптивная защита  
распределительной сети  
уже  
возможна!**

## Преимущества технологии АРЗ. Выводы и перспективы.

**АРЗ полностью соответствует Концепции цифровой трансформации Россети.** За счет технологии АРЗ значительно увеличится эффект от цифровизации электросети. **АРЗ поддерживает Smart-Grid и цифровые РЭС**

**Эффективность** (экономическая и техническая):

- ✓ Экономия на персонале и устранение человеческих ошибок,
- ✓ Внедрение **новых** сложных высокочувствительных РЭС
- ✓ Увеличение **технического совершенства** РЭС, надежности электроснабжения,
- ✓ Постоянная **быстрая автоматическая адаптация РЭС в SmartGrid**

**Виртуальный «цифровой» релейщик.** Технология АРЗ безлюдная и впервые позволяет производить расчет уставок РЭС относительно селективности в полностью автоматическом режиме

**Уникальность.** Аналогичные технологии пока отсутствуют в мире из-за высокой сложности системы РЭС. Наши исследования позволили **впервые** разработать технологию АРЗ и создать ее **прототип и демонстрацию**

### Технология АРЗ



**АРЗ применима к любым РЭС** относительной селективности сетей 6-35 кВ, любой топологии электросети и количеством источников питания, к SmartGrid, **АРЗ совместима со старыми типами защит и не требует полной модернизации распределительной сети** (возможно поэтапное внедрение)

**Будущее развитие** технологии АРЗ позволит создать:

- система автоматического параметрирования устройств РЭС (Plug and Play) для цифровых РЭС
- самоадаптация системы РЭС при развитии электросети
- **интеллектуальная система оптимального управления** режимами сети с учетом затрат и ущерба



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. П. Е. Алексеева



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

---

Контакты:

- ШАРЫГИН Михаил Валерьевич
- Тел.: +7 (910) 88 23 444
- E-mail: [sharygin.m.v@gmail.com](mailto:sharygin.m.v@gmail.com)