

# РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЦИФРОВИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Автор ВКР: студент группы АИМ-202 Кузьяев А.В.

Научный руководитель ВКР: к.т.н., доцент Волчков Ю.Д

# ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ▶ **Целью диссертационной работы** является разработка мероприятий по цифровизации распределительных сетей сельскохозяйственного назначения, на основе математического моделирования, введения цифровых технологий и обоснование экономической эффективности внедрения.
- ▶ Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:
- ▶ анализ эффективности работы существующих электрических сетей сельскохозяйственного назначения и статистическая характеристика их основных параметров;
- ▶ разработка мероприятий по цифровизации распределительных сетей;
- ▶ оценка экономической эффективности от внедрения технологий цифровизации на примере подстанций Мценского РЭС.

# НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

- ▶ Исследованы распределительные сети сельскохозяйственного назначения, получена количественная оценка их технических характеристик.
- ▶ Проведен детальный анализ возможных при цифровизации распределительных сетей мероприятий, показана перспективность их внедрения.
- ▶ В качестве первоочередного, как дающего большой экономический эффект, рекомендуется мероприятие по внедрению цифровых КРУ, имеющих высокий уровень автоматизации и которые позволяют все процессы информационного обмена между элементами подстанции и управление работой подстанции осуществлять в цифровом виде.

# ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

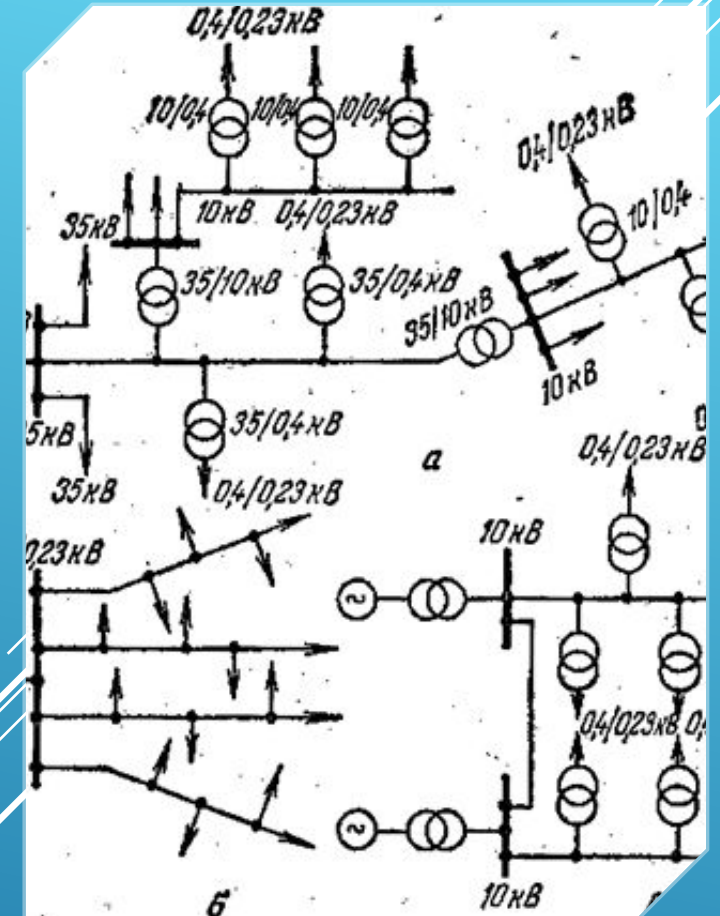
- Объектом исследования являются распределительные электрические сети от 0,4 кВ до 35 кВ сельскохозяйственных потребителей, технические средства и способы, обеспечивающие цифровизацию.





# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- ▶ В настоящее время электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, как правило, осуществляется централизованно – от государственных энергосистем. Обычная схема централизованного электроснабжения выглядит так: от высоковольтной линии энергосистемы через понижающие подстанции питание получают распределительные линии 35-10-6 кВ, к которым присоединяются потребительские подстанции 35/0,4; 10/0,4; 6/0,4 кВ (а)
- ▶ Электропитание потребителя от сельских электростанций, работающих параллельно.
- ▶ Иногда еще встречаются одиночные электростанции, от которых электроэнергия подается потребителям по низковольтным линиям 380/220 В (б)



# ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СЕЛЬХОЗНАЗНАЧЕНИЯ

## Старение электротехнического оборудования.

Сетевые предприятия не всегда могут провести плановую реконструкцию распределительных сетей. Процесс старения сетевых объектов продолжается. Несмотря на то, что темпы роста потребляемых мощностей остановились на определенном уровне, прослеживается тенденция к возрастающему потреблению электроэнергии.

Средний технический уровень установленного подстанционного оборудования в распределительных сетях по ряду параметров соответствует оборудованию, которое эксплуатировалось в технически развитых странах мира 20-30 лет назад.

На балансе Дмитровского РЭС по состоянию на 31.12.202  
находятся 226 КТП 10/0,4 кВ.

# ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

## Повышенная протяженность распределительных сетей

- ❑ Сельские распределительные сети 0,4 кВ, имеют большую протяжённость и достаточно сложную конфигурацию. Увеличение протяженности распределительных сетей сельскохозяйственного назначения наблюдается в случаях подключения нового потребителя на удаленном расстоянии. В связи с тем, что для вновь появившегося потребителя возможность для установки новой КТП 10/0,4 не является экономически выгодной, то рассматривается вариант его подключения на удаленном расстоянии.
- ❑ По мере роста нагрузок и присоединения к электрической сети новых потребителей, в ней возрастают потери электрической энергии. По опубликованным данным потери электрической энергии в действующих сетях сельскохозяйственного назначения напряжением 0,4 кВ составляют 31 - 33%, а с учетом потерь электроэнергии в трансформаторах 10/0,4 кВ потребительских подстанций (ТП) они достигают 50 - 55% от общих потерь.

## Повышенный уровень потерь мощности энергии

- ❑ Рост потерь энергии в электрических сетях определен действием вполне объективных закономерностей в развитии всей энергетики в целом. Основными из них являются: тенденция к концентрации производства электроэнергии на крупных электростанциях; непрерывный рост нагрузок электрических сетей, связанный с естественным ростом нагрузок потребителей и отставанием темпов прироста пропускной способности сети от темпов прироста потребления электроэнергии и генерирующих мощностей. При передаче электрической энергии в каждом элементе электрической сети возникают потери. Фактические потери электроэнергии определяют как разность электроэнергии, поступившей в сеть, и электроэнергии, отпущенной из сети потребителям. Эти потери включают в себя составляющие различной природы: потери в элементах сети, имеющие чисто физический характер, расход электроэнергии на работу оборудования, установленного на подстанциях и обеспечивающего передачу электроэнергии, погрешности фиксации электроэнергии приборами ее учета и, наконец, хищения электроэнергии.
- ❑ Разделение потерь на составляющие может проводиться по разным критериям: характеру потерь (постоянные, переменные), классам напряжения, группам элементов, производственным подразделениями и т.д. Учитывая физическую природу и специфику методов определения количественных значений фактических потерь, они могут быть разделены на четыре составляющие:



- ❑ Технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами в проводах и электрооборудовании, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям.
- ❑ Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала, определяемый по показаниям счетчиков, установленных на трансформаторах собственных нужд подстанций;
- ❑ Потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями их измерения (инструментальные потери);
- ❑ Коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате за электроэнергию бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии. Их значение определяют как разницу между фактическими (отчетными) потерями и суммой первых трех составляющих

Помимо рассмотренных основных общеизвестных проблем распределительной сети влияющих на качество электрической энергии, и несущих негативный эффект потребителю, усугубило текущее состояние введение с 01.07.2014 года нового ГОСТа на нормы качества электрической энергии в система электроснабжения ГОСТ 23144-2013. В нем заложены новые принципы нормирования отклонения напряжения, затрагивающие саму величину этого параметра

Новым ГОСТом ГОСТ 23144-2013 предусмотрено увеличение допустимых отклонений напряжения до значений  $\pm 10\%$ . При этом возрастает и величина допустимых потерь напряжения в питающей линии.

# АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ «ДМИТРОВСКОГО РЭС»

№	Внешняя информация подстанции	Название	Напряжение кВ	Мощность МВА
	ПС 110/35/10 кВ Дмитровск	Дмитровс кя	110/35/10	20
	ПС 35/10 кВ Девятино	Девятино	35/10	4,1
	ПС 35/10 кВ Лубянская	Лубянская	35/10	1,6

На настоящий момент РЭС Дмитровского района имеет значительный износ оборудования как подстанций так и воздушных сетей. Большой износ оборудования распределительных сетей, несовершенство схем электроснабжения в комплексе с другими причинами, приводит к тому, что показатели качества электроэнергии, надежность электроснабжения в последние годы остаются низкими.

**Протяженность линий без учета протяженности отпаяк к потребителям**

Длина линии, км	0-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5
Кол-во линий, шт.	30	32	26	17	12	7	1	0	0	0

В ходе работы произведен анализ статистических данных характеристик электрических сетей Мценского района Орловской области. Обработано 125 линии по состоянию на 01.12.2021 года. Анализировались длины магистральных участков, количество участков по линиям, суммарные протяженности линий.

# ПОНЯТИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ



С точки зрения развития технологий, цифровая трансформация представляет собой четвертую технологическую революцию, которая происходит в настоящее время. Для лучшего понимания её значимости, степени влияния на производство следует рассмотреть её предшественников.



# ЦИФРОВАЯ ПС

Цифровая подстанция – это подстанция с широким внедрением систем автоматизации и управления, цифровых коммуникационных систем построенных на базе открытых протоколов международного стандарта МЭК 61850, оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами и функционирующая без присутствия постоянного дежурного персонала

МЭК 61850 - Стандарт «Сети и системы связи на подстанциях», описывающий форматы потоков данных, виды информации, правила описания элементов энергообъекта

- IEC TR 61850-1 Введение и общие положения
- IEC TS 61850-2 Термины и определения
- IEC 61850-3 Общие требования
- IEC 61850-4 Системный инжиниринг и управление проектами
- IEC 61850-5 Требования к функциям и устройствам в части передачи данных
- IEC 61850-6 Язык описания конфигурации для обмена данными
- IEC 61850-7-1 Основная структура коммуникаций. Принципы и модели
- IEC 61850-7-2 Основная структура коммуникаций. Абстрактный интерфейс коммуникаций (ACSI)
- IEC 61850-7-3 Основная структура коммуникаций. Общие классы данных
- IEC 61850-7-4 Основная структура коммуникаций. Классы логических узлов и объектов данных
- IEC 61850-7-410 Основная структура коммуникаций. Гидроэлектростанции. Связь для мониторинга и управления
- IEC 61850-7-420 Основная структура коммуникаций. Логические узлы распределенных энергетических ресурсов
- IEC 61850-7-510 Основная структура коммуникаций. Гидроэлектростанции. Концепции и руководящие указания по моделированию
- IEC 61850-8-1 Назначение на определенный коммуникационный сервис. Назначение на MMS и GOOSE
- IEC 61850-9-1 Назначение на определенный коммуникационный сервис. Передача мгновенных значений по последовательному интерфейсу
- IEC 61850-9-2 Назначение на определенный коммуникационный сервис. Передача мгновенных значений (Sampled Values)
- IEC 61850-9-3 Профиль протокола точного времени для автоматизации энергосистем
- IEC 61850-10 Проверка соответствия
- IEC TS 61850-80-1 Руководство по передаче информации из модели общих классов данных с использованием МЭК 60870-5-101/104
- IEC TR 61850-80-3 Назначение на веб-протоколы. Требования и технические решения
- IEC TS 61850-80-4 Перевод с объектной модели COSEM (IEC 62056) на модель данных IEC 61850
- IEC TR 61850-90-1 Использование МЭК 61850 для организации связи между подстанциями
- IEC TR 61850-90-2 Использование IEC 61850 для связи между подстанциями и центрами управления
- IEC TR 61850-90-3 Использование IEC 61850 для диагностики и анализа состояния мониторинга
- IEC TR 61850-90-4 Руководство по проектированию сетей
- IEC TR 61850-90-5 Использование МЭК 61850 для передачи данных от устройств синхронизированных векторных измерений в соответствии с IEEE C37.118
- IEC TR 61850-90-7 Объектные модели для преобразователей энергии в системах распределенных энергоресурсов (DER)
- IEC TR 61850-90-8 Объектная модель для электромобилей
- IEC TR 61850-90-12 Руководство по проектированию глобальных сетей

# ОСНОВНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

## МЭК 61850

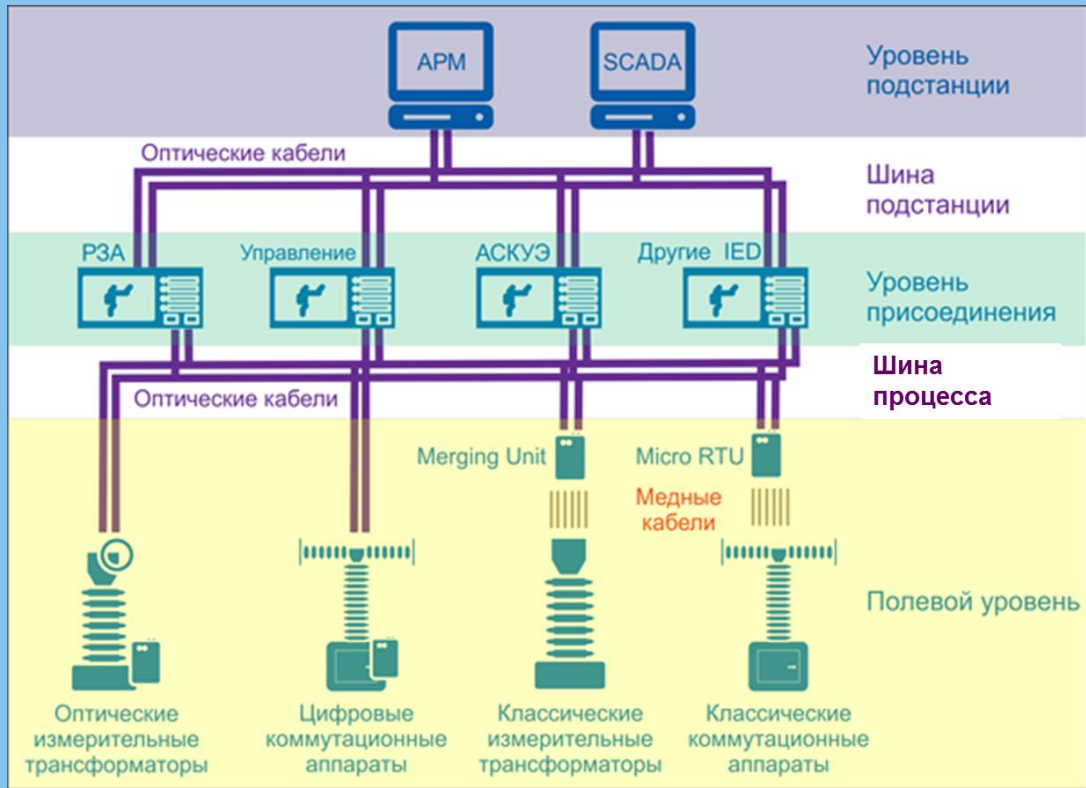
- ❑ MMS: Manufacturing Message Specification (протокол, описанный в МЭК 61850-8-1, для передачи данных по технологии «клиент-сервер», используемый для обмена данными, результатами измерений, диагностическими сообщениями, передачи команд управления и других целей)



- ❑ GOOSE: Generic Object Oriented Substation Event (протокол (сервис), описанный в МЭК 61850-8-1, для передачи данных по технологии «издатель-подписчики», предназначенный для передачи широковещательных сообщений (дискретных сигналов) о событиях на подстанции). Иными словами протокол передачи от преобразователей дискретных сигналов (ПДС), протокол обмена между интеллектуальными электронными устройствами



# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОЙ ПС





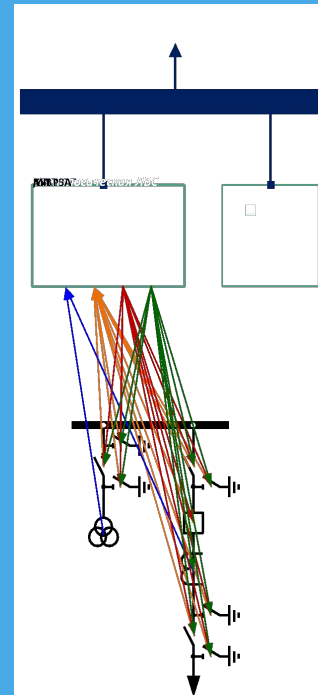
# ПРЕИМУЩЕСТВА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПЕРЕД ТРАДИЦИОННОЙ

## Преимущества

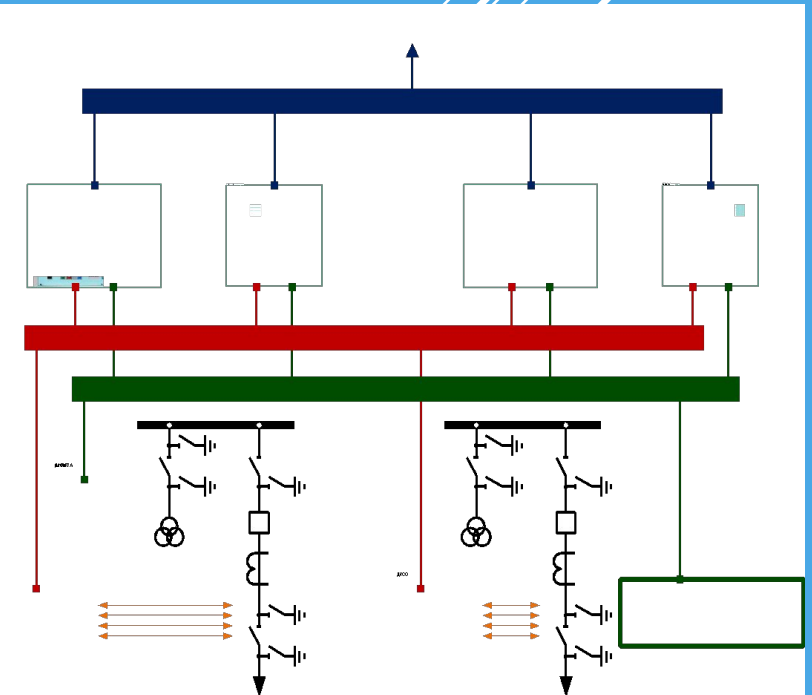
а

- Уменьшение количества устройств рза на объекте и количества межшкафных связей – меньше размеры опус пс (снижение затрат на обогрев и освещение);
- Сокращение сроков проектирования, монтажа и пусконаладочных работ;
- Типизация схем вторичных цепей для пс;
- Повышение уровня управляемости и наблюдаемости;
- Уменьшение затрат на мониторинг и самодиагностику вторичных связей, выявление причин отказов
- Возможность вывода оборудования в режим тестирования

## Традиционная ПС



## Цифровая ПС





# ЦИФРОВОЕ КРУ 10 КВ СЕРИИ «ВОЛГА»

- Используемое в цифровом шкафу КРУ серии «Волга» первичное оборудование уже содержит встроенные интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ), которые функционально и конструктивно ориентированы на поддержку информационного обмена и взаимодействия данными по цифровым локальным вычислительным сетям (ЛВС) с использованием сервисов стандарта МЭК 61850



Напряжения	6-35 кВ
Токи	до 4000А ( 40 кА)
Типовые архитектуры построения ЦПС согласно ПАО «Россети»	I, II, III, IV
Поддержка сервисов	MMS, GOOSE (МЭК 61850-8-1); Sampled Values (МЭК 61850-9-2, 61869-9) ; SV80,SV96,SV256,SV288.
Протоколы синхронизации времени	PTP v.2.1 (МЭК 61850-9-3, IEEE 1588), (S)NTP
Топология резервирования ЛВС	PRP,HSR
Терминал РЗА с поддержкой 61850	Любой, ЦРЗА, ЦВК
Вакуумный выключатель	Цифровой VF
Встроенная система мониторинга, управления и диагностики шкафа «КРУ Smart View»	Поддержка цифровых протоколов обмена данными: МЭК 61850 (MMS, GOOSE); мэк 60870-5-104 (101, 103); Modbus {RTU, TCP}.
Телеуправление	ВВ,ВЭ,ЗРФ
Контроль телеуправления	Система технологического видеонаблюдения
Температурный контроль	Цифровые бесконтактные датчики «Контроль-Т»
Кибербезопасность	KICS Kaspersky, Garibaldi PCtek

# ЗАТРАТЫ НА ВНЕДРЕНИЕ 10 КВ СЕРИИ «ВОЛГА»

ПОКАЗАТЕЛИ	Результаты расчета
Цена оборудования, тыс. руб.	9216
Транспортные расходы, тыс. руб.	1843
Затраты на монтаж, тыс. руб.	921
Итого капитальные вложения, тыс.руб.	11980

Показания	Эксплуатационные затраты
Амортизационное отчисление, тыс. руб.	1078,272
Стоимость технического ремонта, тыс.руб.	239,616
Стоимость технического обслуживания, тыс.руб.	119,808
Заработная плата обслуживающему персоналу, тыс.руб.	20
Прочие затраты, тыс.руб.	72,885
Итого, тыс.руб.	1530,581

Внедрение цифрового КРУ 10 кВ серии «Волга» позволит повысить надежность электроснабжения потребителей, тем самым уменьшить ущерб от недоотпуска электроэнергии. Кроме этого, применение современного оборудования на ЦПС и энергоэффективных сухих трансформаторов СВЭЛ класса А [29] для собственных нужд уменьшит потери электроэнергии и расходы на содержание подстанции.

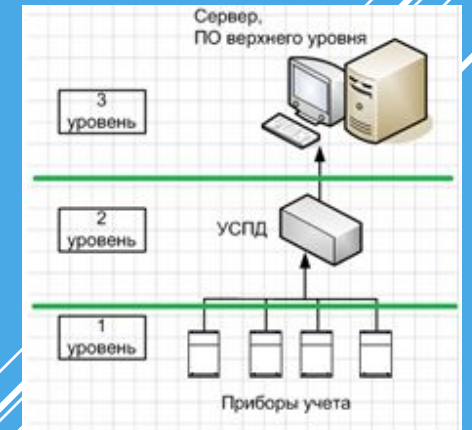
# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Классическая АСУЭ, измеряющая электроэнергию, состоит из трех уровней с иерархической системой обработки информации

1 уровень - состоит из информационно измерительных комплексов (ИИК) (включают в себя многотарифные счетчики электроэнергии, трансформаторы тока и напряжения, вторичные измерительные цепи и т.п.);

2 уровень – состоит из информационно-вычислительных комплексов энергообъекта (ИВКЭ) (включают в себя устройства сбора и передачи данных (УСПД), объединенные в сеть (имеют модули обмена информацией со счетчиками, с рабочими местами верхнего уровня и внешней системой));

3 уровень – представляет собой информационно-вычислительный комплекс (ИВК) (включает в себя серверное оборудование, имеющее модули связи с УСПД, с установленным на нем прикладным и системным программным обеспечением).



Рассмотрим информационно-вычислительный комплекс на базе ПО «Пирамида - сети» в состав которого входят:

- Счётчик электрической энергии КВАНТ ST1000-6 и ST2000-9
- Устройство сбора и передачи данных (УСПД) СИКОН С70
- Сетевым коммутатор D-Link DES-1210-52/C1
- GPRS-модем Link ST100 и устройство связи (GSM) Антенна GSM с кронштейном (10дБи, 3м)
- Устройство синхронизации времени УСВ-3







# БПЛА

Порядок проведения ремонтно-эксплуатационных работ регламентирован «Правилами организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» (приказ Министерства энергетики от 25 октября 2017 г. N 1013).

Согласно данному документу, в среднем количество осмотров каждой ВЛ в году должно составлять не менее 2-х. При средней зоне обслуживания ВЛ одной бригадой в 600 км и качественном осмотре ВЛ 20 км в день, для проведения периодических осмотров требуется 60 дней. А с учётом остальных видов осмотров требуется минимум 80 дней, что составляет 1/3 часть всего рабочего времени бригады по обслуживанию ВЛ. Времени на проведение других эксплуатационных и ремонтных работ остается очень мало.

В объем осмотра ВЛ входит выявление:

- нарушений и неисправностей на трассах;
- неисправностей на проводах, грозозащитных тросах;
- оценка состояния контактных соединений;
- определение неисправностей в подвесках и арматуре;
- определение неисправностей опор и фундаментов;
- определение неисправностей заземляющих устройств.

Анализ работы воздушных линий электропередачи показывает, что около 30 % повреждений ВЛ связано с отказами изоляторов. Сравнительно часто имеет место перекрытие изоляторов во время грозы из-за потери электрической прочности нескольких элементов в гирлянде, при повышенных механических усилиях из-за гололеда и пляски проводов.

При использовании БПЛА (учащенная периодичность) возможно своевременное выявление дефектов связанных с:

- Несвоевременной вырубкой деревьев (веток), угрожающих падением на провода (4,5 %);
- Неудовлетворительным техническим обслуживанием (17,2 %);
- Гололедно-изморозевыми отложениями (5 %);
- Падением деревьев (веток) из-за ветра (40,1 %)

**ИТОГО, возможно предотвращение при своевременном выявлении примерно до 50 % дефектов!**



# ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- ▶ Исследованы распределительные сети сельскохозяйственного назначения, получена количественная оценка их технических характеристик.
- ▶ Проведен детальный анализ возможных при цифровизации распределительных сетей мероприятий, показана перспективность их внедрения.
- ▶ В качестве первоочередного, как дающего большой экономический эффект, рекомендуется мероприятие по внедрению цифровых КРУ, имеющих высокий уровень автоматизации и которые позволяют все процессы информационного обмена между элементами подстанции и управление работой подстанции осуществлять в цифровом виде.
- ▶ Результаты анализа современного технического состояния распределительных сетей сельскохозяйственного назначения, рекомендации по внедрению мероприятий по цифровизации можно применять при эксплуатации и разработке проектов реконструкции и цифровизации распределительных сетей сельскохозяйственного назначения.

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**

