



Организация  
Объединенных Наций по  
вопросам образования,  
науки и культуры



Международный  
центр компетенций  
в горнотехническом образовании  
под эгидой ЮНЕСКО

**Международная специальная краткосрочная программа  
Международного центра компетенций в горнотехническом  
образовании под эгидой ЮНЕСКО**

**РАЗРАБОТАНА В РАМКАХ СОДЕЙСТВИЯ ЭКСПОРТА  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»**

**Уровень программы: профессиональный**

**Форма обучения: очная**

**Объем программы: 74 часа**

**Руководитель  
программы:**

к.т.н., Жуковский Ю.Л.

**Составитель  
программы:**

к.т.н., Жуковский Ю.Л.

к.т.н., Соловьев С.В.



ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

## **1 Общие положения**

### **1.1 Цель программы:**

Цель программы – формирование базовых знаний по структуре, режимам и принципам функционирования интеллектуальных энергетических систем и комплексов, а также передовых тенденции развития систем электроснабжения мире на основе цифровых и информационных технологий.

### **1.2. Основные задачи программы**

- **получение дополнительных знаний в области** современных тенденций в области создания централизованных, автономных и комбинированных систем электроснабжения;

- **получение дополнительных знаний в области** современных методов и средств сбора, обработки и передачи информации в интеллектуальных энергетических системах;

- **ознакомление с** современной программной и аппаратной реализацией интеллектуальных систем электроснабжения.

### **1.3 Категория слушателей:**

Студенты и аспиранты, обучающиеся по направлениям подготовки, связанным с энергетикой, электроснабжением, электроприводом, силовой электроникой, автоматизацией технологических процессов, электромеханикой.

### **1.4 Планируемые результаты обучения**

Перечень дополнительных профессиональных компетенций, качественное изменение которых осуществляется в результате реализации программы обучения:

- способность ориентироваться в современных тенденциях в области электроэнергетики;
- способность принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения;
- способность применить современные методики по увеличению качества электроэнергии для сетей электроснабжения;
- способность обосновывать технологию построения электротехнических систем и комплексов на основе цифровых и информационных технологий;

### **1.5 Требования к результатам освоения программы:**

С целью достижения указанных в п. 1.4 дополнительных профессиональных компетенций, слушатели в процессе освоения программы должны:

#### **Получить знания по вопросам:**

- анализа качества электроэнергии в промышленных сетях, в том числе сетях минерально-сырьевого комплекса;
- формирования критериев, на основе которых разрабатывается система управления промышленных сетей переменного тока;
- основных способов и алгоритмов управления режимами энергообеспечения и энергопотребления;
- построения систем управления электротехническими комплексами и системами.

**Развить умения:**

- по анализу качества электроэнергии с промышленных сетей;
- выявлять основные критерия эффективности систем электроснабжения для их дальнейшей оптимизации;
- прогнозировать и оценивать перспективные направления развития и совершенствования централизованных, автономных и комбинированных систем электроснабжения;
- анализировать экспериментальные данные о параметрах и режимах работы систем электроснабжения

**Приобрести навыки:**

- проведения измерений качества электроэнергии в сетях переменного тока;
- управления потоками мощности в промышленных сетях;
- построения информационных систем в энергетике.
- в области подбора современного энергетического оборудования применительно к конкретной задаче.

**1.6. Календарный учебный график****Условные обозначения:**

Георетическое обучение	час
Итоговая аттестация	ИА

Форма обучения	Дни недели/ауд.час											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
очная	2	8	8	8	8	-	-	8	8	8	8	8 ИА

**1.7. Учебный план:**

№	Наименование дисциплин (модуля)	Всего часов	В том числе					
			Лекции	Практические занятия (семинары)	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Выездные мастер-классы	Итоговая аттестация
1	Введение.	2	2	-	-	-	-	-
2	Модуль 1. Цифровые и информационные технологии в энергетике	24	4	8	8	-	4	-
3	Модуль 2. Энергосберегающие технологии	20	2	8	8	-	2	-
4	Модуль 3. Современное энергетическое оборудование	20	2	10	2	-	6	-
5	Итоговый контроль	8	-	-	-	6	-	2
	<b>Всего</b>	<b>74</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>2</b>

## 1.8 Объем программы и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Часы
Лекционные занятия	10
Практические занятия	26
Лабораторные занятия	18
Выездные мастер-классы	12
Защита решения кейса	2
<b>Всего очных занятий</b>	<b>68</b>
Самостоятельная работа, включая подготовку к итоговой аттестации	6
<b>Общий объем программы</b>	<b>74</b>

## 2. Содержание обучения:

### 2.1 Содержание обучения по программе:

Наименование разделов профессионального модуля, тем	Содержание учебного материала	Объем часов
Введение. Роль современных энергетических технологий.	Ознакомление с тенденциями в области энергетических систем, электроснабжения промышленных комплексов, анализ объемов потребления энергии и роли энергетики в современном мире.	2
Модуль 1. Цифровые и информационные технологии в энергетике	Технологии SmartGrid (интеллектуальные электрические сети). Цифровой переход в электроэнергетике. Четвертая промышленная революция «Industrial 4.0». Концепция «Интернетэнергии» (Internet of Energy). Технологии «Интернета вещей» (IoT) в электроэнергетике. Облачные и туманные вычисления. Smartcontract — умный контракт. Технологии распределенного реестра, блокчейн (blockchain), одноранговые сети (peer-to-peer), мультиагентные системы. Применение средств искусственного интеллекта. Автономные роботизированные системы.	24
Модуль 2. Энергосберегающие технологии	Регулирование напряжения и коэффициента мощности. Энергосбережение средствами электропривода. Интеллектуальные системы обеспечения качества электрической энергии. Автоматизация распределительных сетей среднего и низкого напряжения. Возобновляемые источники энергии. Интеграции различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации. Регулирование спроса (DemandResponse). Интеллектуальные средства учета энергоресурсов (Smart Metering).	20
Модуль 3. Современное энергетическое оборудование	Технологии и оборудование для передачи и распределения электроэнергии постоянными переменным током. Управляемые силовые преобразователи. Интеграция и реализация релейной защиты и автоматики. Оборудование цифровых подстанций. Интеллектуальное силовое оборудование. Оценка надежности в технических системах.	20

## 2.2. Рабочие программы дисциплин (модулей) – представлены в Приложении 1.

### 2.3. Формы аттестаций по программе:

Для оценки качества усвоения знаний, умений и опыта деятельности предусмотрены текущий и итоговый виды контроля.

Текущий контроль успеваемости осуществляется на основе устных вопросов по пройденному материалу.

Форма итоговой аттестации по программе – защита решения кейса.

К защите кейса допускаются те слушатели, которые посетили занятия курса в полном объеме.

### 2.4. Оценочные материалы:

Оценка презентованного проекта в виде решения кейса осуществляется комиссией состоящей из кураторов курса, а также ведущих преподавателей курса. В ходе выступления оценочной комиссией задаются вопросы по подготовленному проекту. Тема проекта выбирается в ходе практических занятий и относится к решению проблем, освещенных в ходе курса.

Примерный перечень тем кейс-заданий у итогового контроля:

1. Энергообеспечение умного города.
2. Стимулирование развития электрифицированного транспорта.
3. Выбор и обоснование системы снабжения удаленных потребителей
4. Интеграция средств распределенной генерации
5. Применение цифровых технологий в энергосбережении

## 2.5. Учебно-методические материалы (в том числе конспекты лекций) – представлены в Приложении 2.

### 2.6. Вид документа, подтверждающий прохождение обучения:

После успешного окончания обучения выдается сертификат о прохождении Международной специальной краткосрочной программы под эгидой Международного центра ЮНЕСКО: «Современные технологии в энергетике».

## 3 Организационно-педагогические условия реализации программы:

### 3.1 Материально-технические условия реализации программы:

Для реализации программы используются специализированные аудитории и лаборатории Научного центра цифровых технологий Горного университета, аудитории кафедр «Электроэнергетики и Электромеханики», «Общей Электротехники», «Информатики и Компьютерных технологий». В ходе обучения используется программное обеспечение на основе Matlab, MatlabSimulink, Ansys, DassaultSystems программное обеспечение на языке Python, оборудование (лабораторные стенды и вычислительная техника) Schneiderelectric, в том числе стенды защитного оборудования и моделирования аварийных процессов в системах электроснабжения.

### 3.2. Кадровое обеспечение образовательного процесса по программе:

№	Фамилия, Имя, Отчество	Образование (вуз; год окончания; специальность)	Должность, ученая степень, звание, стаж работы в данной или аналогичной области, лет	Количество научных и учебно-методических публикаций
Руководители программы				
1	Жуковский Юрий Леонидович	Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г. В. Плеханова (Технический университет), 2003, Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов	Горный университет, к.т.н., доцент кафедры ЭиЭм, 13 лет	Более 100

№	Фамилия, Имя, Отчество	Образование (вуз; год окончания; специальность)	Должность, ученая степень, звание, стаж работы в данной или аналогичной области, лет	Количество научных и учебно-методических публикаций
2.	Соловьев Сергей Викторович	Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2012, Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов.	Горный университет, к.т.н., ассистент кафедры ОЭ, 5 лет	Более 20
Профессорско-преподавательский состав программы				
3	Котелева Наталья Ивановна	Санкт-Петербургский горный университет им. Г.В. Плеханова (технический университет), 2007, Автоматизация технологических процессов и производств	Горный университет, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, к.т.н., 9 лет	Более 35
4	Веприков Антон Андреевич	Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2012, Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов	Горный университет, к.т.н., ассистент кафедры ЭиЭм, 3 лет	Более 10
5	Сычев Юрий Анатольевич	Санкт-Петербургский горный университет им. Г.В. Плеханова (технический университет), 2007, Электротехника, электромеханика, электротехнологии	Горный университет, доцент кафедры ЭиЭм, к.т.н., 9лет	Более 100
6	Иванченко Даниил Иванович	Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2010, Электротехника, электромеханика и электротехнологии	Горный университет, доцент кафедры ОЭ, к.т.н., 5лет	Более 25
6	Барданов Алексей Игоревич	Национального минерально-сырьевого университета (Горный), 2014, Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов	Горный университет, ассистент кафедры ОЭ, к.т.н., 3года	Более 15
7	Крыльцов Сергей Борисович	Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2012, Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов	Горный университет, ассистент, к.т.н., 4 года	Более 17

**Приложение 1**  
**к образовательной программе –**  
**«Международная специальная краткосрочная**  
**Программа под эгидой Международного центра ЮНЕСКО**  
**«Современные технологии в энергетике»**

**Рабочая программа модуля**  
**«Введение. Роль современных энергетических технологий»**

**1. Цели и задачи модуля**

**Цель модуля** – получение представлений о современном состоянии и перспективах развития в области энергетических систем, электроснабжения промышленных комплексов, анализ объемов потребления энергии и роли энергетики в современном мире.

**Основные задачи:**

- получение дополнительных знаний о современных тенденциях в области создания централизованных, автономных и комбинированных систем электроснабжения;
- получение дополнительных знаний об объемах потребляемых ресурсов и первичной энергии.

**2. Планируемые результаты обучения**

Процесс изучения модуля «Введение. Роль современных энергетических технологий» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
способность ориентироваться в современных тенденциях в области электроэнергетики	<b>Знать</b> принципы построения систем управления электротехническими комплексами и системами
	<b>Уметь</b> прогнозировать и оценивать перспективные направления развития и совершенствования централизованных, автономных и комбинированных систем электроснабжения;
	<b>Владеть</b> способами построения информационных систем в энергетике;

**3. Структура и содержание модуля**

**3.1 Разделы модуля и виды занятий**

№п/п	Наименование модуля	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			лекц.	практич.	самост.	
1.	Введение. Роль современных энергетических технологий	2	2	-	-	-

### 3.2 Содержание раздела модуля

№	Наименование тем	Содержание учебного материала	Объем часов
1	Роль современных энергетических технологий	Ознакомление с тенденциями в области энергетических систем, электроснабжения промышленных комплексов, анализ объемов потребления энергии и роли энергетики в современном мире.	2

#### 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

По итогам изучения модуля «Введение. Роль современных энергетических технологий» контроль и промежуточная аттестация не предусмотрены.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение

1. Энергосбережение и энергоэффективность [Текст] : учеб. пособие / Ю. Л. Жуковский, А. А. Бельский, Я. Э. Шклярский. - СПб. : Лема, 2019. - 93 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 90-92. - ISBN 978-5-00105-456-6 [Электронный ресурс]. Режим доступа

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_statistic\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_statistic_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>)

2. Энергосбережение на предприятиях минерально-сырьевого комплекса: учеб. пособие / Б. Н. Абрамович [и др.]. - СПб. : Горн. ун-т, 2013. - 73 с. ISBN 978-5-94211-636-1

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=115&task=set\\_statistic\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%D0%90%2088695%2F%D0%AD%2065%2D303886<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=115&task=set_statistic_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%D0%90%2088695%2F%D0%AD%2065%2D303886<.>)

#### 6. Материально-техническое обеспечение

##### Материально-техническое оснащение аудиторий:

При проведении используются специализированные программные комплексы и оборудование Научно-образовательного центра цифровых технологий, и специализированные аудитории «SchneiderElectric». Для реализации программы используются аудитории кафедр «Электроэнергетики и Электромеханики», аудитории кафедры «Общей Электротехники», аудитории кафедры «Информатики и Компьютерных технологий». В ходе обучения используется программное обеспечение на основе Matlab, MatlabSimulink, программное обеспечение на языке Python. используемые при проведении занятий лекционного типа и практических оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

**Рабочая программа модуля  
«Цифровые и информационные технологии в энергетике»**

**1. Цели и задачи модуля**

**Цель модуля** – приобретение теоретических и практических знаний по вопросам применения цифровых и информационных технологий в электроэнергетике и электроснабжении промышленных потребителей.

**Основные задачи:**

- получение дополнительных знаний в области современных методов и средств сбора, обработки и передачи информации в интеллектуальных энергетических системах;
- получение дополнительных знаний современной программной реализацией интеллектуальных систем электроснабжения.

**2. Планируемые результаты обучения**

Процесс изучения модуля «Цифровые и информационные технологии в энергетике» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
Способность обосновывать технологию построения электротехнических систем и комплексов на основе цифровых и информационных технологий	<b>Знать</b> критерии, на основе которых разрабатывается система управления промышленных сетей переменного тока
	<b>Уметь</b> выявлять основные критерия эффективности систем электроснабжения для их дальнейшей оптимизации
	<b>Владеть</b> навыками построения информационных систем в энергетике.

**3. Структура и содержание модуля**

**3.1 Разделы модуля и виды занятий**

№ п/п	Наименование модуля	Всего, час	в том числе					Форма контроля
			лк.	пр.	лб.	ср.	мк.	
1	<b>Модуль 1. Основы проектирования</b>	24	4	8	8	-	4	-
1.1	Состояние и перспективы развития энергетических систем и технологий. Цифровой переход в энергии	6	2	-	-	-	4	-
1.2	«Развитие систем автоматизации, технологии «Industrial 4.0»	10	2	4	4	-	-	-
1.3	Информационные технологии в энергетике	8	-	4	4	-	-	-

### 3.2 Содержание модуля

№	Наименование тем	Содержание учебного материала	Объем часов
1	Состояние и перспективы развития энергетических систем и технологий. Цифровой переход в энергии	Технологии SmartGrid (интеллектуальные электрические сети). Цифровой переход в электроэнергетике. Концепция «Интернет энергии» (Internet of Energy). Технологии «Интернета вещей» (IoT) в электроэнергетике	6
2	«Развитие систем автоматизации, технологии «Industrial 4.0»	Четвертая промышленная революция «Industrial 4.0». Применение средств искусственного интеллекта. Автономные роботизированные системы.	10
3	Информационные технологии в энергетике	Облачные и туманные вычисления. Smartcontract — умный контракт. Технологии распределенного реестра, блокчейн (blockchain), одноранговые сети (peer-to-peer), мультиагентные системы.	8

### 3.3 Перечень практических занятий

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
2	Применение нейросетей для обработки экспериментальных данных	Практическое занятие	2
2	Организация передачи данных в интеллектуальных системах электроснабжения	Практическое занятие	2
3	Информационные технологии в энергетическом секторе	Практическое занятие	2
3	Обработка цифровых сигналов	Практическое занятие	2

### 3.4 Перечень лабораторных занятий

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
2	Организация передачи данных в интеллектуальных системах электроснабжения	Лабораторное занятие	2
2	Организация передачи данных в интеллектуальных системах электроснабжения	Лабораторное занятие	2
3	Использование обработки цифровых сигналов для анализа качества электроэнергии в распределительных сетях	Лабораторное занятие	2
3	Информационная безопасность при передаче данных в интеллектуальных системах	Лабораторное занятие	2

### 3.5 Перечень мастер-классов

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
1	Организация передачи данных в интеллектуальных системах электроснабжения	Выездной мастер-класс	4

#### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости**

##### **Вопросы для текущего контроля успеваемости:**

1. Аппаратные средства сбора, анализа и передачи данных.
2. Сетевые технологии для формирования информационно-управляющих воздействий и взаимодействия элементов систем электроснабжения.
3. Аппаратная реализация технологий SmartGrid.
4. Принципы и технологии «интернета-вещей».

##### **5. Учебно-методическое обеспечение модуля:**

1. Трофимов, В.Б. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами : учебно-практическое пособие / В.Б. Трофимов, С.М. Кулаков. - Москва-Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. - 232 с. : ил., табл., схем. - Библиогр.: с. 183-193. - ISBN 978-5-9729-0135-7; То же [Электронный ресурс]. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444175>

2. Энергосбережение и энергоэффективность [Текст] : учеб. пособие / Ю. Л. Жуковский, А. А. Бельский, Я. Э. Шклярский. - СПб. : Лема, 2019. - 93 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 90-92. - ISBN 978-5-00105-456-6 [Электронный ресурс]. Режим доступа [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_statisc\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_statisc_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>)

3. Интеллектуальные сети систем электроснабжения [Текст] : лаб. практикум / Н. И. Котелева, Ю. Л. Жуковский. - СПб. : Инфо-Да, 2019. - 68 с. - Библиогр.: с. 67 (6 назв.). - ISBN 978-5-94652-627-2 [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_statisc\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2073%2D672816537<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_statisc_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2073%2D672816537<.>)

##### **6. Материально-техническое обеспечение**

###### **Материально-техническое оснащение аудиторий:**

При проведении используются специализированные программные комплексы и оборудование Научно-образовательного центра цифровых технологий, и специализированные аудитории «SchneiderElectric». Для реализации программы используются аудитории кафедр «Электроэнергетики и Электромеханики», аудитории кафедры «Общей Электротехники», аудитории кафедры «Информатики и Компьютерных технологий». В ходе обучения используется программное обеспечение на основе Matlab, MatlabSimulink, программное обеспечение на языке Python. используемые при проведении занятий лекционного типа и практических оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

**Рабочая программа модуля  
«Энергосберегающие технологии»**

**1. Цели и задачи модуля**

**Цель модуля** – приобретение теоретических и практических знаний в области выбора энергоэффективного оборудования и проектных решений, направленных на энергосбережение.

**Основные задачи:**

- ознакомить с установками высокого и низкого напряжения позволяющими обеспечить качество электрической энергии в узлах нагрузки и электромагнитную совместимости оборудования в системах электроснабжения;
- изучить принцип работы и особенности расчета энергетических установок, электростанций и комплексов на базе возобновляемых источников энергии;
- изучить методы энергосбережения, виды вторичных энергоресурсов и способы их использования.

**2. Планируемые результаты обучения**

Процесс изучения модуля «Энергосберегающие технологии» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
Способность принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения	<b>Знать</b> методы анализа качества электроэнергии в промышленных сетях, в том числе сетях минерально-сырьевого комплекса
	<b>Уметь</b> осуществлять анализ качества электроэнергии с промышленных сетей
	<b>Владеть</b> способами проведения измерений качества электроэнергии в сетях переменного тока.

**3. Структура и содержание модуля**

**3.1 Разделы модуля и виды занятий**

№ п/п	Наименование модуля	Всего, час	в том числе					Форма контроля
			лк.	пр.	лб.	ср.	мк.	
1	<b>Модуль 2. Энергосберегающие технологии</b>	20	2	8	8	-	2	-
1.1	Энергетическая эффективность. Анализ объёмов производства и потребления первичных энергоёмких ресурсов	8	2	2	2	-	2	-
1.2	Энергосбережение в электротехнических комплексах	12	-	6	6	-	-	-

### 3.2. Содержание раздела модуля

№	Наименование тем	Содержание учебного материала	Объем часов
1	Энергетическая эффективность. Анализ объемов производства и потребления первичных энергоемких ресурсов	Автоматизация распределительных сетей среднего и низкого напряжения. Возобновляемые источники энергии. Интеграции различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации. Регулирование спроса (DemandResponse).	8
2	Энергосбережение в электротехнических комплексах	Интеллектуальные средства учета энергоресурсов (SmartMetering). Регулирование напряжения и коэффициента мощности. Энергосбережение средствами электропривода. Интеллектуальные системы обеспечения качества электрической энергии	12

### 3.3 Перечень практических занятий

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
1	Внедрение релейной защиты и ее автоматизация в интеллектуальных системах управления	Практическое занятие	2
2	Энергетические обследования	Практическое занятие	2
2	Энергосбережение в системах электроснабжения	Практическое занятие	2
2	Энергосбережение в системах электропривода	Практическое занятие	2

### 3.4 Перечень лабораторных занятий

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
1	Показатели качества электроэнергии	Лабораторное занятие	2
2	Электрический привод	Лабораторное занятие	2
2	Силовые преобразователи	Лабораторное занятие	2
2	Энергосбережение в системах электроснабжения	Лабораторное занятие	2

### 3.5 Перечень мастер-классов

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
6	Применение парогазового цикла в энергосистеме	Мастер-класс	2

#### 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

##### Вопросы для текущего контроля успеваемости:

1. Перспективные применения возобновляемых источников энергии – в мировой практике?
2. Конфигурация распределенной энергетики?
3. Приборы для проведения энергоаудита?
4. Регулирование напряжения и коэффициента мощности в распределительных сетях?
5. Интеллектуальные системы освещения?
6. Методы и средства обеспечения электромагнитной и энергетической совместимости?

##### 5. Учебно-методическое обеспечение модуля:

1. Энергосбережение и энергоэффективность [Текст] : учеб. пособие / Ю. Л. Жуковский, А. А. Бельский, Я. Э. Шклярский. - СПб. : Лема, 2019. - 93 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 90-92. - ISBN 978-5-00105-456-6 [Электронный ресурс]. Режим доступа

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>)

2. Интеллектуальные сети систем электроснабжения [Текст] : лаб. практикум / Н. И. Котелева, Ю. Л. Жуковский. - СПб. : Инфо-Да, 2019. - 68 с. - Библиогр.: с. 67 (6 назв.). - ISBN 978-5-94652-627-2

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2073%2D672816537<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2073%2D672816537<.>)

3. Коммерческий учет электропотребления [Текст] : учеб. пособие / сост.: Д. А. Устинов, Ю. Л. Жуковский. - СПб : Лема, 2017. - 95 с. - Библиогр.: с. 93 (8 назв.). - ISBN 978-5-00105-128-2. Режим доступа: -

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=115&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2063%2D000729995<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=115&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2063%2D000729995<.>)

#### 6. Материально-техническое обеспечение

##### Материально-техническое оснащение аудиторий:

При проведении используются специализированные программные комплексы и оборудование Научно-образовательного центра цифровых технологий, и специализированные аудитории «SchneiderElectric». Для реализации программы используются аудитории кафедр «Электроэнергетики и Электромеханики», аудитории кафедры «Общей Электротехники», аудитории кафедры «Информатики и Компьютерных технологий». В ходе обучения используется программное обеспечение на основе Matlab, MatlabSimulink, программное обеспечение на языке Python. используемые при проведении занятий лекционного типа и практических оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

## Рабочая программа модуля

### «Современное энергетическое оборудование»

#### 1. Цели и задачи модуля

**Цель модуля** – приобретение теоретических и практических знаний в области выбора современного оборудования для электротехнических комплексов и систем.

#### Основные задачи:

– ознакомиться с установками высокого и низкого напряжения позволяющими обеспечить качество электрической энергии в узлах нагрузки и электромагнитную совместимости оборудования в системах электроснабжения;

– ознакомление с современной аппаратной реализацией интеллектуальных систем электроснабжения.

#### 2. Планируемые результаты обучения

Процесс изучения модуля «Современное энергетическое оборудование» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
Ознакомление с современными решениями в области электроснабжения минерально-сырьевых комплексов	<b>Знать</b> способы и алгоритмы управления режимами энергообеспечения и энергопотребления;
	<b>Уметь</b> выбирать современное энергетическое оборудование применительно к конкретной задаче;
	<b>Владеть</b> навыками по подбору современного энергетического оборудования применительно к конкретной задаче.

#### 3. Структура и содержание модуля

##### 3.1 Разделы модуля и виды занятий

№ п/п	Наименование модуля	Всего, час	в том числе					Форма контроля
			лк.	пр.	лб.	ср.	мк.	
1	<b>Модуль 3. Современное энергетическое оборудование</b>	20	2	10	2	-	6	-
1.1	Релейная защита и автоматика в интеллектуальных электрических сетях	8	2	4	2	-	-	-
1.2	Оборудование цифровых подстанций	12	-	6	-	-	6	-

##### 3.2. Содержание раздела модуля

№	Наименование тем	Содержание учебного материала	Объем часов
1	Релейная защита и автоматика в интеллектуальных электрических сетях	Интеграция и реализация релейной защиты и автоматики. Оценка надежности в технических системах.	8

№	Наименование тем	Содержание учебного материала	Объем часов
2	Оборудование цифровых подстанций	Технологии и оборудование для передачи и распределения электроэнергии постоянным и переменным током. Управляемые силовые преобразователи. Оборудование цифровых подстанций. Интеллектуальное силовое оборудование.	12

### 3.3 Перечень практических занятий

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
1	Внедрение релейной защиты и ее автоматизация в интеллектуальных системах управления	Практическое занятие	2
1	Внедрение релейной защиты и ее автоматизация в интеллектуальных системах управления	Практическое занятие	2
2	Управляемые силовые преобразователи	Практическое занятие	2
2	Архитектура цифровой подстанции	Практическое занятие	2
2	Стандарты передачи информации цифровой подстанции	Практическое занятие	2

### 3.4 Перечень лабораторных занятий

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
1	Обработка цифровых сигналов	Лабораторное занятие	2

### 3.5 Перечень мастер-классов

№ темы	Наименование занятия	Вид занятия	Кол-во час.
2	Структура цифровой подстанции	Мастер-класс	6

## 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

### Вопросы для текущего контроля успеваемости:

1. Структура, алгоритмическое обеспечение и аппаратная реализация интеллектуальных сетей систем электроснабжения
2. Аппаратные средства сбора, анализа и передачи данных.
3. Современные микропроцессорные системы релейной защиты и электросетевой автоматики.
4. Сетевые технологии для формирования информационно-управляющих воздействий и взаимодействия элементов систем электроснабжения.
5. Аппаратная реализация технологий SmartGrid.

## 5. Учебно-методическое обеспечение модуля

### Основная литература:

1. Энергосбережение и энергоэффективность [Текст] : учеб. пособие / Ю. Л. Жуковский, А. А. Бельский, Я. Э. Шклярский. - СПб. : Лема, 2019. - 93 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 90-92. - ISBN 978-5-00105-456-6 [Электронный ресурс]. Режим доступа [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_statistic\\_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_statistic_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%96%2086%2D489225049<.>)
2. Интеллектуальные сети систем электроснабжения [Текст] : лаб. практикум / Н. И. Котелева, Ю. Л. Жуковский. - СПб. : Инфо-Да, 2019. - 68 с. - Библиогр.: с. 67 (6 назв.). - ISBN 978-5-94652-627-2 [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_statistic\\_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2073%2D672816537<](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_statistic_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F2%2E1%2F%D0%9A%2073%2D672816537<)
3. Энергосбережение на предприятиях минерально-сырьевого комплекса: учеб. пособие / Б. Н. Абрамович [и др.]. - СПб. : Горн. ун-т, 2013. - 73 с. ISBN 978-5-94211-636-1 [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=115&task=set\\_statistic\\_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%D0%90%2088695%2F%D0%AD%2065%2D303886<](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=115&task=set_statistic_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%D0%90%2088695%2F%D0%AD%2065%2D303886<)

## 6. Материально-техническое обеспечение

### Материально-техническое оснащение аудиторий:

При проведении используются специализированные программные комплексы и оборудование Научно-образовательного центра цифровых технологий, и специализированные аудитории «SchneiderElectric». Для реализации программы используются аудитории кафедр «Электроэнергетики и Электромеханики», аудитории кафедры «Общей Электротехники», аудитории кафедры «Информатики и Компьютерных технологий». В ходе обучения используется программное обеспечение на основе Matlab, MatlabSimulink, программное обеспечение на языке Python. используемые при проведении занятий лекционного типа и практических оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

**Приложение 2**  
**к образовательной программе –**  
**«Международная специальная краткосрочная**  
**Программа под эгидой Международного центра ЮНЕСКО**  
**«Современные технологии в энергетике»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ**  
**ПРОГРАММЫ**

Процесс изучения материала программы предусматривает активное использование современных инновационных образовательных технологий. Формы обучения: индивидуальные и групповые. Методы обучения:

- работа с преподавателем, - работа в коллективе обучающихся,
- самостоятельная работа.

При освоении дисциплины используются следующие виды активной и интерактивной форм обучения для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций:

- совместное погружение в проблемное поле;
- обсуждение сложных вопросов и проблем;
- работа в малых группах; - разборы конкретных ситуаций и т.д. Процесс освоения

дисциплины предусматривает следующие работы:

1. Контактная работа (аудиторная работа: лекционные, практические и лабораторные занятия, мастер-классы, консультации);
2. Самостоятельная работа;
3. Контрольные мероприятия (промежуточные аттестации);
4. Метод кейс-стадии – обучение, при котором студенты и преподаватели участвуют в непосредственном обсуждении деловых ситуаций или задач. При данном методе обучения студент самостоятельно вынужден принимать решение и обосновать его.

**Методические указания для обучающихся по лекционным занятиям по**  
**модулю**

Лекция является наиболее экономичным способом передачи учебной информации, т.к. при этом обширный материал излагается концентрированно, в логически выдержанной форме, с учетом характера профессиональной деятельности обучаемых. Лекция закладывает основы научных знаний в обобщенной форме. На лекционных занятиях преподаватель:

- знакомит обучающихся с общей методикой работы над курсом;
- дает характеристику учебников и учебных пособий, знакомит слушателей с обязательным списком литературы;
- рассказывает о требованиях к промежуточной аттестации;
- рассматривает основные теоретические положения курса;
- разъясняет вопросы, которые возникли у обучающихся в процессе изучения курса. Лекционное занятие преследует 5 основных дидактических целей:
- информационную (сообщение новых знаний);

- развивающую (систематизация и обобщение накопленных знаний);
- воспитывающую (формирование взглядов, убеждений, мировоззрения);
- стимулирующую (развитие познавательных и профессиональных интересов);
- координирующую с другими видами занятий.

В процессе прослушивания лекций очень важно умение обучающихся конспектировать наиболее значимые моменты теоретического материала. Конспект помогает внимательнее слушать, лучше запоминать в процессе записи, обеспечивает наличие опорных материалов при подготовке к лабораторным занятиям и промежуточной аттестации. В этой же тетради следует записывать неясные вопросы, требующие уточнения на занятии. Рекомендуется в тетради отвести место для словаря, куда в алфавитном порядке вписываются специальные термины и пояснения к ним.

### **Методические указания для обучающихся по практическим занятиям по модулю**

Практическое занятие – форма систематических учебных занятий, с помощью которых обучающиеся изучают тот или иной раздел определенной научной дисциплины, входящей в состав учебного плана.

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение заданий проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях обучающийся не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении заданий нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если обучающийся видит несколько путей решения проблемы, то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы. Решение проблемных заданий или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждого учебного задания должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данного задания. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение заданий данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

При подготовке к практическим занятиям следует использовать основную литературу из представленного списка, а также руководствоваться приведенными указаниями и рекомендациями. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить

наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий.

Обучающемуся рекомендуется следующая схема подготовки к занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

В процессе подготовки изучают рекомендованные преподавателем источники литературы, а также самостоятельно осуществляют поиск релевантной информации.

### **Методические указания для обучающихся по лабораторным занятиям по дисциплине (модулю)**

Лабораторные занятия имеют целью углубление и закрепление теоретических знаний, развитие навыков самостоятельного экспериментирования. В ходе лабораторного занятия обучающиеся под руководством преподавателя лично проводят натурные или имитационные эксперименты с целью проверки и подтверждения отдельных теоретических положений учебного курса, приобретают практические навыки работы с вычислительной техникой, овладевают методикой экспериментальных исследований в конкретной предметной области. Порядок проведения лабораторного занятия:

1. Вводная часть: - входной контроль подготовки обучающегося; - вводный инструктаж (знакомство обучающихся с содержанием предстоящей работы, показ способов выполнения отдельных операций, предупреждение о возможных ошибках).

2. Основная часть: - проведение обучающимся лабораторной работы; - текущий инструктаж, повторный показ или разъяснения (в случае необходимости преподавателем исполнительских действий, являющихся предметом инструктирования).

3. Заключительная часть: - оформление отчета о выполнении задания; - заключительный инструктаж (подведение итогов выполнения учебных задач, разбор допущенных ошибок и выявление их причин, сообщение результатов работы каждого обучающегося, объявление о том, что необходимо повторить к следующему занятию).

### **Методические указания для обучающихся по мастер-классам**

Одной из современных педагогических форм, позволяющих демонстрировать новые возможности профессионализма, является мастер-класс.

Целью проведения мастер-класса является демонстрация достижений специалиста как подлинного мастера в своей области.

Мастерство — это всегда высокий профессионализм, большой и разнообразный опыт определенной деятельности, обширные познания теории и практики в конкретной сфере. Основной принцип мастер-класса: «Я знаю, как это сделать, и я научу вас». К особенностям проведения мастер-класса можно отнести следующие:

- основная форма взаимодействия со слушателями — сотрудничество, сотворчество, совместный поиск;
- формы, методы, технологии работы в процессе проведения мастер-класса участникам не навязываются, а предлагаются;

– на одном из этапов мастер-класса слушателям предлагается самостоятельная работа в малых группах, создающая условия для включения всех в активную деятельность и позволяющая провести обмен мнениями.

Задачи мастер-класса:

– передача педагогом-мастером своего опыта путем прямого и комментированного показа последовательности действий, методов, приемов;

– совместная отработка приемов решения поставленной в программе мастер-класса проблемы;

– рефлексия собственного профессионального мастерства участниками мастер-класса;

– оказание помощи участникам мастер-класса в определении задач саморазвития, самообразования и самосовершенствования

Перед началом мастер-класса обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в журнале за технику безопасности.

Мастер разбивает задание на ряд задач. Группам предстоит придумать способ их решения. Причём участники свободны в выборе метода, темпа работы, пути поиска. Каждому предоставляется независимость в выборе пути поиска решения, дано право на ошибку и на внесение корректив.

Когда группа выступает с отчётом о выполнении задачи, важно, чтобы в отчёте были задействованы все. Это позволяет использовать уникальные способности всех участников мастер-класса, даёт им возможность самореализоваться, что позволяет учесть и включить в работу различные способы познания каждого педагога.

### **Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе по дисциплине (модулю)**

Достижение целей эффективной подготовки обучающихся и развитие профессиональных компетенций невозможно без их целеустремленной самостоятельной работы. Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации.

Основная цель данного вида занятий состоит в обучении методам самостоятельной работы с учебным материалом, нормативно-правовыми актами, научной литературой, с ситуационными задачами, развитие способности самостоятельно повышать уровень профессиональных знаний, реализуя специальные средства и методы получения нового знания, и использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности. Состав самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекционным и практическим занятиям:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;

- работа с конспектом;

- подготовка вопросов для самостоятельного изучения

2. Подготовка к лабораторным занятиям:

- работа со справочниками и др. литературой;

- формирование отчета о выполнении лабораторного занятия;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению по результатам лабораторного занятия;

### 3. Подготовка к мастер-классам:

- обучающиеся должны ознакомиться с анонсом мероприятия, предусмотренных программой мастер-класса;

- необходимо предварительно ознакомиться со структурой предприятия, на базе которого будет проводиться мастер-класс, основными направлениями, которыми занимается предприятие или компания.

### 4. Подготовка к промежуточной и итоговой аттестациям:

- повторение всего учебного материала модуля
- аналитическая обработка текста; периодического, продолжающегося издания или сборника как составная часть его основного текста.

## **Методические указания для обучающихся по промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине (модулю)**

В период подготовки к промежуточной и итоговой аттестации обучающихся вновь обращаются к пройденному учебному материалу. При этом они не только закрепляют полученные знания, но и получают новые. Подготовка обучающегося к аттестации включает в себя три этапа:

- самостоятельная работа в течение курса;
- непосредственная подготовка в дни, предшествующие промежуточной и итоговой аттестации по темам курса;
- подготовка к ответу на вопросы.

Подготовка к аттестации осуществляется на основании списка вопросов по изучаемому курсу, конспектов лекций, учебников и учебных пособий, научных статей, информации среды интернет. Литература для подготовки к промежуточной аттестации рекомендуется преподавателем. Для полноты учебной информации и ее сравнения лучше использовать не менее двух источников. Обучающийся вправе сам придерживаться любой из представленных в литературе точек зрения по спорной проблеме (в том числе отличной от преподавателя), но при условии достаточной научной аргументации.

Основным источником подготовки к промежуточной и итоговой аттестации является конспект лекций, где учебный материал дается в систематизированном виде, основные положения его детализируются, подкрепляются современными фактами и информацией, которые в силу новизны не вошли в опубликованные печатные источники. В ходе подготовки к аттестации обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем. Для подготовки к аттестации преподаватель проводит консультацию по возникающим вопросам. Промежуточная аттестация проводится по вопросам, охватывающим весь пройденный материал. По окончании ответа преподаватель может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы. Оценка качества подготовки обучающихся осуществляется в двух основных направлениях: оценка уровня освоения дисциплин и оценка уровня сформированности компетенций обучающихся. Предметом оценивания являются знания, умения и практический опыт обучающихся.

Положительно будет оцениваться стремление обучающихся изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам.

### **Методические указания для обучающихся по итоговой аттестации по дисциплине (модулю) в форме решения кейс -задания**

Метод конкретных ситуаций (англ. Casemethod, кейс-метод, метод кейсов, метод ситуационного анализа) — техника обучения, использующая описание реальных технических, экономических, социальных и бизнес-ситуаций. Обучающиеся должны исследовать ситуацию, разобраться в сути проблем, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них. Кейсы основываются на реальном фактическом материале или же приближены к реальной ситуации.

Решение кейсов состоит из нескольких шагов:

- 1) исследования предложенной ситуации (кейса);
- 2) сбора и анализа недостающей информации;
- 3) обсуждения возможных вариантов решения проблемы;
- 4) выработки наилучшего решения.

Студенты на подготовительном этапе изучают предоставленный преподавателем текст ситуации (кейса) и выполняют необходимые задания, которые к нему относятся.

Кейс оценивается по следующим критериям:

1. Технология: эффективность предложенного проектного решения. Решение грамотно, корректно и обосновано. Решение актуально, применимо, выявлены и учтены все ключевые и второстепенные параметры и факторы, влияющие на результат.
2. Экономика: экономическая эффективность и эффект от предлагаемых решений, оценка рисков и экономическое обоснование приоритетных проектных решений.
3. Инновационность: Оригинальность и новизна технологического, экономического, организационного и/или другого решения или их совокупности, высокая актуальность и его повышенная эффективность
4. Презентация и выступление: качество оформления презентации: уровень структурированности информации, качество визуализации слайдов, текста, графического оформления.
5. Ответы на вопросы экспертов: развернутые, логичные и грамотные ответы участников на поставленные вопросы экспертов, свободное владение терминологией, уверенное оперирование теоретическими и практическими знаниями.

### **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

#### **Примерный перечень общих вопросов для подготовки к промежуточной аттестации:**

1. Аппаратные средства сбора, анализа и передачи данных.
2. Сетевые технологии для формирования информационно-управляющих воздействий и взаимодействия элементов систем электроснабжения.
3. Аппаратная реализация технологий SmartGrid.
4. Принципы и технологии «интернета-вещей».
5. Перспективные применения возобновляемых источников энергии – в мировой практике?
6. Конфигурация распределенной энергетики?

7. Приборы для проведения энергоаудита?
8. Регулирование напряжения и коэффициента мощности в распределительных сетях?
9. Интеллектуальные системы освещения?
10. Методы и средства обеспечения электромагнитной и энергетической совместимости?

## КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

### Критерии оценок промежуточной аттестации

Оценка	Описание
<b>Зачтено</b>	Посещение более 50 % лекционных и лабораторных занятий; обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение курса выполнил работу.
<b>Не зачтено</b>	Посещение менее 50 % лекционных и лабораторных занятий; обучающийся не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

### Критерии оценок итоговой аттестации:

*Примерная шкала оценивания знаний по вопросам/выполнению заданий зачета:*

Оценка	
Не зачтено	Зачтено
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 50 % лекционных и практических занятий
Обучающийся не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Обучающийся хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

## Учебно-методические материалы

### «Введение. Роль современных энергетических технологий»

Модуль включает 2 часа лекции ведущих специалистов кафедр ЭиЭм, ОЭ.

#### Содержание лекции.

Рассматриваются проблемы, связанные с генерацией, распределением и потреблением электроэнергии в современных реалиях. Выделяются виды генерируемой энергии: возобновляемые (солнечные батареи, гидроэнергетика, ветроэнергетика, энергия волн). Также выделяются не возобновляемые источники энергии (уголь, природный газ, нефть, ядерное топливо), вторичные энергоносители, к которым относятся разного рода топлива после переработки, пар и горячая вода, накопители механической энергии. После преобразования энергия поступает в финальной форме непосредственно потребителям.

Рассматриваются этапы развития энергетики, появление эффективным способов переработки полезных ископаемых в энергию, развитие гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии. Также делается прогноз на открытие новых источников энергии (термоядерные реакторы, замкнутые циклы использования ядерной энергии т.д.)

Ставится вопрос о важности безопасного использования и передачи электроэнергии при их переработке и потреблении. В этот вопрос входят факторы, которые влияют на рост и развитие энергетики в мире, такие как: рост населения в мире, увеличения интенсивности электропотребления в развитых и развивающихся странах, увеличение уровня жизни, изменение мирового сырьевого рынка изменения в климатических условиях.

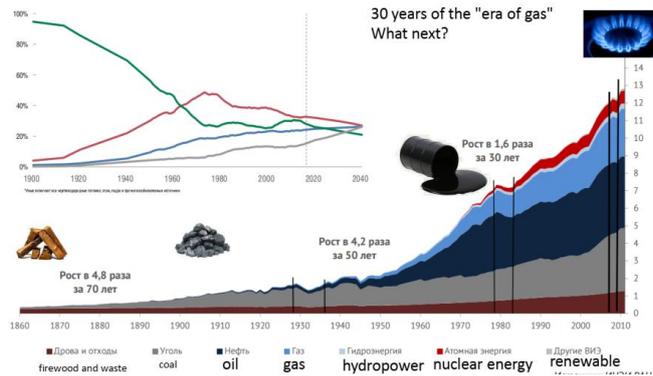
Из вышеизложенных проблем вытекает общая стратегия по развитию энергопотребления в мире, за счет оптимизации генерации и потребления электроэнергии, а также вводится понятие энергетическая безопасность, для обобщения факторов, влияющих на темпы роста развития энергетики в мире. Также приводятся примеры того, как увеличить показатель энергетической безопасности, а именно вводом интеллектуальных систем управления электротехническими комплексами и системами, которые будут управлять генерацией, транспортировкой и потреблением электроэнергии.

#### Energy

- ▶ Depending on the conversion stage, the following types of energy are distinguished:
- ▶ • primary - energy resources extracted from the environment. Primary energy resources are:
  - a) renewable is solar energy, hydropower, wind energy, annual wood and peat increments, geothermal energy, tidal energy, sea currents - their reserves are constantly replenished;
  - b) non-renewable, whose reserves have no sources of replenishment and are gradually decreasing due to their growing consumption (coal, oil, gas, nuclear energy).
- ▶ • secondary (supplied) - energy carriers received by consumers: different types of liquid, solid and gaseous fuels, electricity, steam and hot water, various carriers of mechanical energy, etc.
- ▶ • final - a form of energy directly used in industrial, transport or household processes of consumers.



Energy



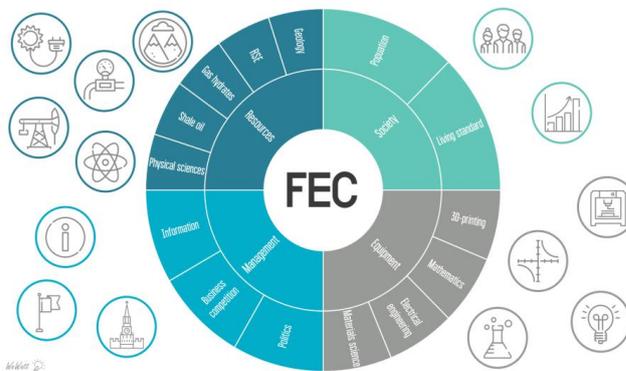
4

Energy

- 30 years of the "era of gas" can last.
- Return to coal fuel (gasification of coal, synthesis gas).
- Unconventional (heavy-recovery) hydrocarbons (shale oil and gas)
- Renewable sources (wind, sun, bioenergy, heat).
- Hydropower.
- Hydrogen energy
- Thermonuclear fusion, atomic energy, closed nuclear fuel cycle
- "Dark matter", "dark energy", the energy of the cosmos, ionospheric energy .....
- ??????????????

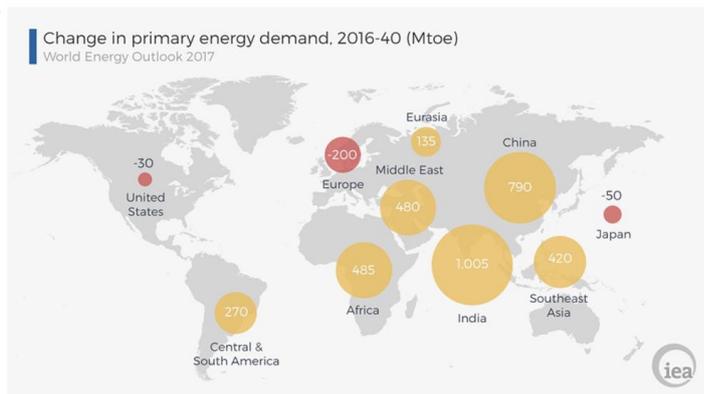
5

Energy is the foundation of the modern world  
Future of fuel and energy complex depends on today's actions

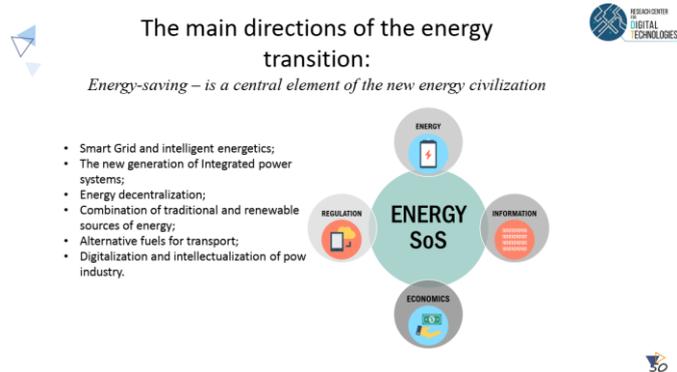
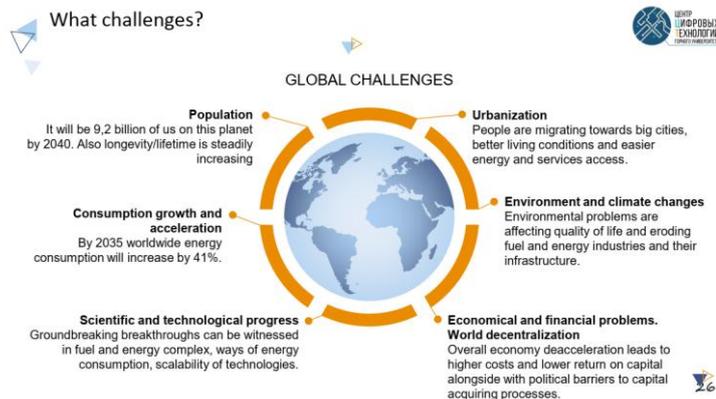


6

Consumption growth forecast



5



## Учебно-методические материалы

### Модуль 1. «Цифровые и информационные технологии в энергетике»

Модуль включает 4 часа лекций, 8 часов практических занятий и 8 часов лабораторных занятий, а также посещение выездного мастер-класса.

#### Лекция «Состояние и перспективы развития энергетических систем и технологий.

##### Цифровой переход в энергетике».

Проникновение информационных и цифровых технологий в экономическую и социальную сферу в обозримом будущем позволит объединить реальный и виртуальный мир, что в свою очередь породит множество новых рынков, услуг, бизнес-стратегий и качественно преобразит энергетические рынки. Однако, на данный момент, зарождающаяся четвертая промышленная революция приводит к очень высокой неопределенности в отношении успеха различных технологических направлений, которые являются основой перехода от существующей энергетической парадигмы к интегрированным интеллектуальным системам электро-, тепло- и газоснабжения (энергетическая «система систем» или «EnergySoS»). Интеграция различных энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации позволит создать гибкую демократическую инфраструктуру свободного обмена энергией. Только переход к «EnergySoS» позволит энергетике стать гарантом устойчивого развития при переходе к новому технологическому укладу. Расширение функциональных возможностей на основе интеграции невозможно без единой информационно-коммуникационной платформы, обеспечивающей контроль, управление, наблюдаемость обмена энергией и энергетическими торговыми сервисами. Соответственно, экономическая коллаборация и интеграция регуляторов способны нивелировать множество барьеров при энергетическом переходе и образовать единую законодательную, нормативную, социальную систему правил, формирующих безопасное, доступное, качественное обеспечение энергией всех участников.

Электроэнергетика является системообразующей отраслью экономики, надежное и эффективное функционирование которой определяет экономическую и энергетическую безопасность страны. Однако наметившиеся в связи с необходимостью обеспечения целей устойчивого развития тенденции в мировой энергетике, называемые 3D – декарбонизация (decarbonization), децентрализация (decentralization) и цифровизация (digitalization), вызывают спрос на технологии, что в свою очередь приведет к цифровой трансформации отрасли и появлению интеллектуальных электрических сетей.

По результатам изучения отечественных и зарубежных источников были выявлены 45 основных технологии и эффекты для энергетики, которые позволят осуществить переход к цифровой интеллектуальной энергетике (ЦИЭ). Все проанализированные технологии в рамках направления были разделены на 3 группы по функциональным свойствам: SmartGrid (SG), IT, Digitaltechnologies (DT); в каждой группе оранжевым цветом выделены технологии, приносящие наибольший эффект (рисунок 1).

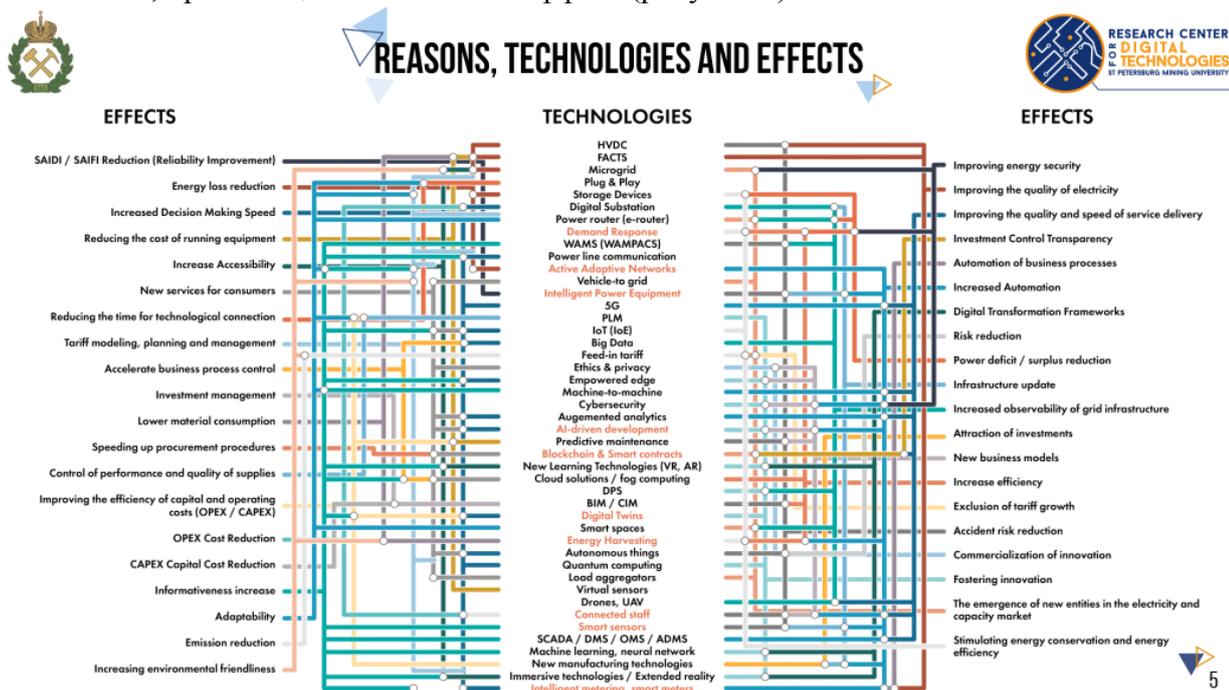


Рисунок 1. Технологии и ожидаемый эффект от применения в энергетике.

По результатам исследования была сформирована оценочная карта технологического покрытия причин необходимости цифрового перехода в электроэнергетике. В процессе анализа результатов был сделан вывод о том, что технологии располагаются в пяти уровнях цифровых трансформаций.

Целесообразно для оценки предстоящего технологического спроса разделить трансформацию энергетики на несколько уровней.

1. Техническая трансформация – изменение и улучшение технических характеристик устройств, внедрение новых типов оборудования, материалов, модернизация электротехнических комплексов и систем.

2. Трансформация бизнес-процессов – типизация и стандартизация бизнес-процессов, создание единой модели данных и архитектуры информационных систем, изменение логики бизнес-процессов. Реализация стандартных процессов без участия человека, сокращение уровней управления, преобразование системы управления из вертикальной в матричную.

3. Трансформация в регулировании – новая регуляторная среда, обеспечивающая благоприятный правовой режим для возникновения и развития технологий, а также для осуществления экономической деятельности, связанной с их использованием. Внедрение цифровых технологий и платформенных решений в сферах управления и оказания услуг. Изменение отношений между государством, энергетическими компаниями, потребителями.

4. Трансформация структуры энергетики – изменение структуры энергетических систем в масштабах города/страны, появление просьюмеров, активных энергетических комплексов, масштабное применение систем хранения энергии, появление распределенных источников, в том числе на основе вторичных ресурсов и возобновляемой энергии.

5. Трансформация в управлении – регулирование, экономические и экологические расчеты, мониторинг, анализ, управление и защита в энергетических системах в масштабе реально времени, в том числе на основе предсказательной аналитики.

Совмещение этих пяти уровней трансформации приведет к появлению цифровой интеллектуальной энергетики (далее ЦИЭ). Однако помимо причин сегодняшнего дня в мире появляются вызовы, которые только зарождаются и впоследствии могут распространяться при определенных условиях на российскую энергетику. К таким причинам можно отнести: кадровый голод для цифровой трансформации; повышение требований к качеству жизни; интеллектуальное удобство использования окружающего пространства и оборудования; требования к фиксации углеродного следа поставляемой энергии; возможность формирования персональной энергетической корзины; требования к экологичности поставляемой энергии; мгновенная фиксация и оплата нарушения параметров экологичности, качества и надежности поставляемой энергии и т.д. Представленные перспективные требования потребителей будущего создают окно возможностей для компаний, поставляющих технологии для преобразования отрасли и повышения эффективности её функционирования. Для оценки возможностей на внутреннем и глобальном рынке для различных технологий был сформирован перечень компаний, которые занимаются развитием технологий.

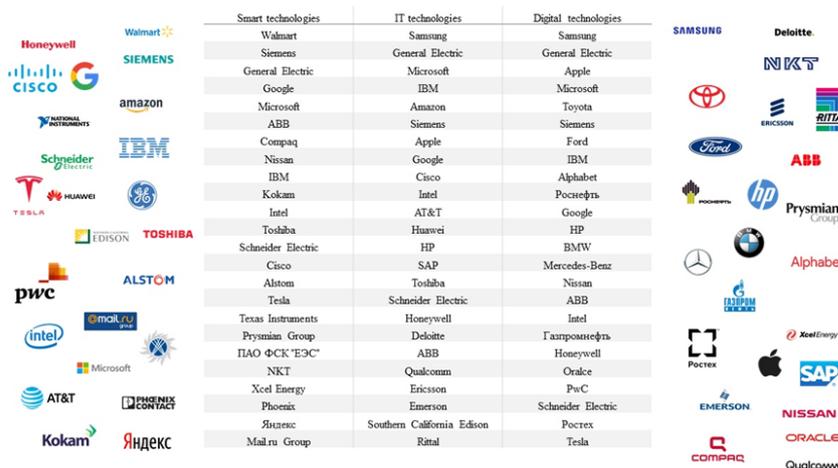


Рисунок 2. ТОП-25 компаний в каждом направлении.

Перспективы развития до 2030 года

Переосмысляя концепцию энергетического перехода, в 2017 г. в Европе сформировались три тренда, которые определяют будущее электроэнергетики, называемые 3«D»:

**Digitalization** - цифровизация меняет работу энергосистемы, появляется новое понимание того, как используется электричество, как вырабатывается и поставляется электроэнергия и как строятся заводы и системы для производства, транспортировки, распределения и хранения энергии.

**Decarbonization** - декарбонизация связана с климатом, а также с поставками первичного топлива и электрификацией, и может принести как экономические, так и экологические выгоды.

**Decentralization** – децентрализация связана с изменением отраслей промышленности и распределением тенденций энергопотребления в сторону увеличения числа небольших экономических узлов, это стимулирует инновации от накопления энергии до интеллектуальных счетчиков и не только.

Однако на основе проведенного анализа считаем необходимым дополнить эту концепцию в связи с нарастающим влиянием в энергетике еще двух тенденций, которые могут оказать существенное влияние на горизонте 2025-2030 гг.:

Depend – усиливающаяся информационная и технологическая зависимость производства, транспортировки и использования различных видов энергии друг от друга. Интеграция между собой электричества, газа, воды, тепла, холода, а также коллаборация со всеми участниками ТЭК. Все это определяет новый энергетический тренд.

Decrease - тренд на снижение потребления не только энергии, но и всех видов ресурсов и материалов, снижение количества отходов и все большее вовлечение их в переработку. Данному тренду способствует качественное изменение поведения потребителей и новые производственные технологии, позволяющие кастомизировать продукцию.

В условиях влияния, рассмотренных современных глобальных вызовов и трендов, развитие технологий в таких направлениях как SmartGrid, IT и Digital будут иметь определяющее влияние на рост экономики и технологический прогресс любого государства сегодня и в долгосрочной перспективе до 2050-60-ых годов.

#### SmartGrid

Для удовлетворения растущего интереса в электроэнергии требуется не только увеличение генерации, но и внедрение более экологических и экономичных способов с меньшим расходом ресурсов. Необходимо предоставить надежное и недорогое энергообеспечение: изменение модели потребления энергии – vehicle-to-grid, demandresponse; высокотехнологичные ЛЭП, позволяющие снизить потери и увеличить пропускную способность при меньшей или неизменной металлоёмкости линий – FACTS; надежность и зеленая энергетика – HVDC позволит увеличить генерацию «зеленой» электроэнергии, увеличить передаваемую мощность и управлять перетоками мощности между энергосистемами с учетом глобализации электроэнергетических потоков; автономность потребителя по отношению к энергосистеме – MicroGrid, накопители электроэнергии; переход к середине XXI века к концепции ААС – сетей другой архитектуры с высокой степенью прозрачности, управляемости, а также активности бытовых потребителей. При этом происходит глубокая интеграция энергетических потоков электричества, газа, воды, тепла и холода, водорода и других ресурсов.

#### IT

В ближайшие 30-40 лет IoT будет внедряться повсеместно: от чайника до одежды, благодаря развитию высокоскоростной сети 5G, которая обеспечивает потоковую передачу данных в высоком качестве: технологии дополненной реальности VR и AR будут интегрированы в ежедневные процессы. Облачные и туманные вычисления войдут в жизнь каждого человека: с помощью BigData ни одно действие в сети не останется незамеченным. Машинное обучение позволит компьютерам принимать и обрабатывать колоссальный объём информации – возможность решать сложные задачи в областях физики, математики, биологии и т.д. В сочетании с машинным обучением Blockchain и смарт-контракты обеспечат автоматизированную разработку сложных решений, применимых к различным сферам жизни человека: Empowerededge, Feed-intariff. Огромное население требует энергетического контроля: привычные социальные сети заменят InstantMessaging с совершенными методами авторизации, иметь доступ к информационным и энергетическим сетям анонимно будет невозможно.

Все вышеперечисленные технологии, развитие и внедрение которых позволит сократить объем потребляемой энергии, улучшить качество жизни населения и противодействовать глобальным вызовам, получат наибольшее развитие и применение ввиду востребованности и актуальности как сегодня, так и в ближайшем будущем.

#### Digitaltechnologies

Среди данного направления важно выделить интеллектуальные датчики и умные счетчики, необходимо отметить переход на полную интеграцию, в которой за обслуживание и ремонт отвечают роботизированные комплексы и дроны, но для решения нестандартных ситуаций в системе всегда будет присутствовать человек. Также без

внимания не останутся DPS и BIM технологии, цифровое проектирование в энергетике и строительстве во многом будет завязано на возможностях искусственного интеллекта, что поможет повысить экономическую эффективность инвестиционных проектов, а также качество и быстроту выполняемых услуг.

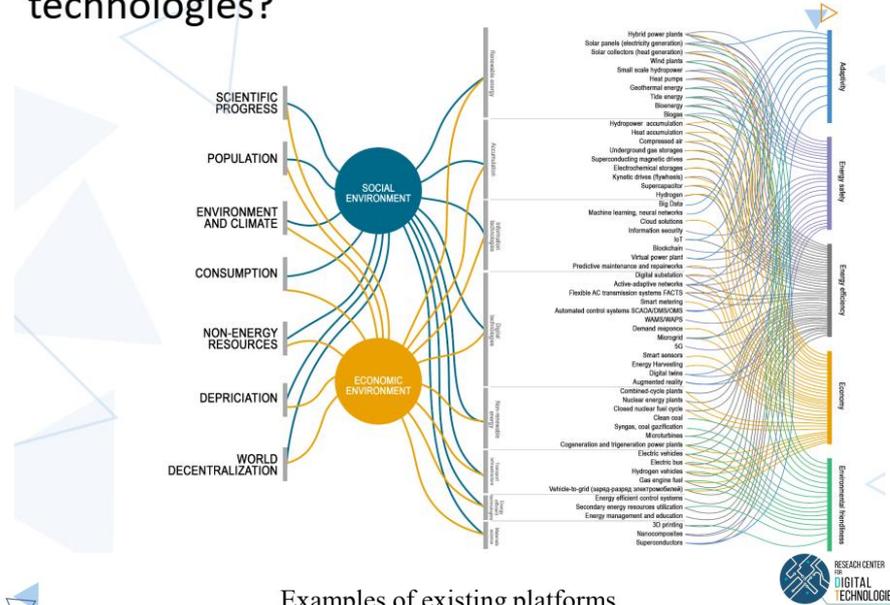
## Слайды для лекции. EnergyNET

**INTERNET OF ENERGY** - it is ecosystem of producers and consumers of energy, which are integrating easily in the general infrastructure and exchanging energy.

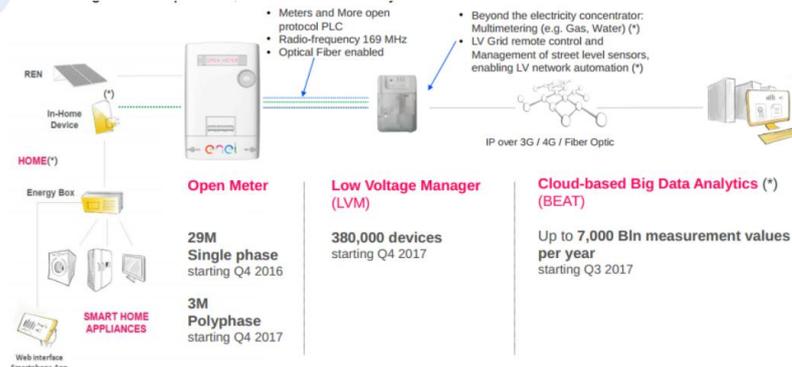


- Bidirectional energy flows
- Mesh topology
- Information redundancy
- Flexible mechanisms of economic impact
- Active behavior of the users

## What changes can we expect from digital technologies?



## Examples of existing platforms



## Digital twin



A digital twin is a software analogue of a physical device, product group or process that models internal processes, technical characteristics and behavior of a real object, group or process under the influence of interference and the environment.

- **Twins components**

This is a digital equivalent of an asset component such as a bearing on a rotating piece of equipment.

- **Equipment twins**

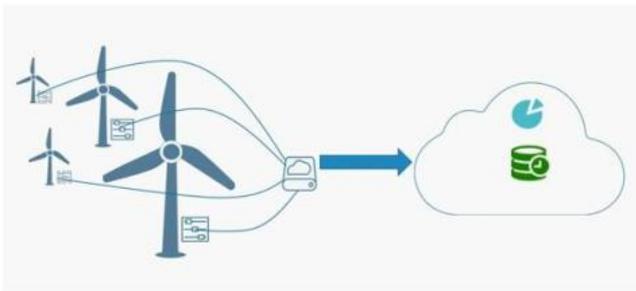
This is the digital twin of the entire asset, such as a motor or pump. Двойники системы

- **A system or block twin** is a collection of assets that together perform a system-wide or network function, such as a conveyor line.

- **Process twins**

win that gives an idea of a set of actions or operations, such as a production process, with more focus on the process itself rather than the equipment.

## Examples of existing platforms

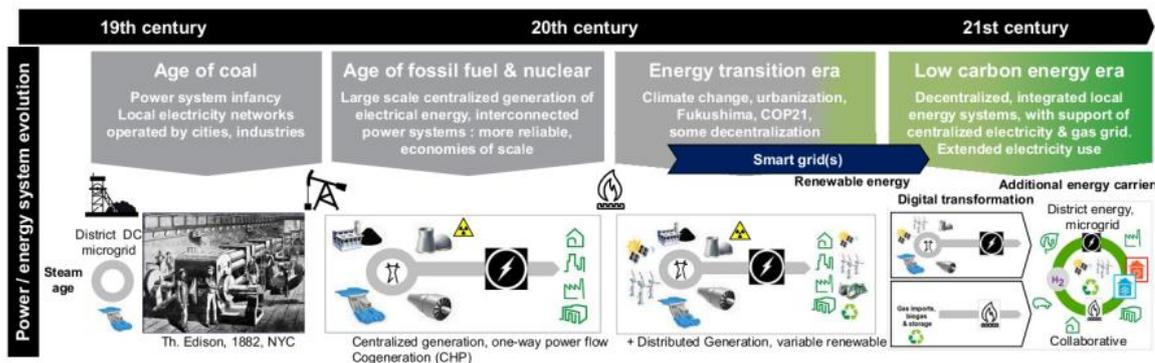


ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ			
<p><b>Обнаружение аномалий тенденции</b> Позволяет обнаруживать тренды критического временного ряда.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение аномалий высокого размера</b> Позволяет получать данные на обнаружение аномалий временных рядов.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение аномалий низкого уровня</b> Поддержание работоспособности машины при слое обнаружения аномалий критического временного ряда.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение аномалий скачка</b> Выявление обнаружения скачка временного ряда.</p> <p><b>PREDIX</b></p>
<p><b>Обнаружение аномалий области</b> Улучшает обнаружение аномалий в сложных временных рядах.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение временной области</b> Способность поиска в данных, подробное обнаружение аномалий временных рядов.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение аномалий ручного труда</b> Выявление простоя и участия человека в работе.</p> <p><b>iSTD</b></p>	<p><b>Обнаружение аномалий Кальмана</b> Это инструмент идентифицирует сложные аномалии в сложных данных.</p> <p><b>GE Transportation</b></p>
<p><b>Гостиницы T-Square для многомерных Выходов</b> Эта техника обнаруживает аномалии в многомерных процессах с высокой скоростью, используя входные данные.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение выброса лесных участков</b> Этот метод использует случайный лес деревьев решений для обнаружения аномалий в данных.</p> <p><b>PREDIX</b></p>	<p><b>Обнаружение аномалий</b> Этот алгоритм использует временные данные для обнаружения аномалий в многомерных временных рядах.</p> <p><b>GE Aviation</b></p>	<p><b>Диагностика на основе изображений</b> Этот инструмент использует функции обнаружения для сегментации изображений с помощью методов глубокого обучения.</p> <p><b>PREDIX</b></p>

### ценообразование

Примечание: Чтобы подписаться на эту аналитику, вы также должны быть подписаны на службу Analytics Platform.

ПОДПИСНЫЕ ПЛАНЫ	
	150 ДОЛЛАРОВ США В МЕСЯЦ
	30 дней бесплатной пробной версии
Бесплатная пробная версия	30 дней
Периодическая плата	\$ 150
Платежный цикл	в месяц



## Лекция «Развитие систем автоматизации, технологии «Industrial 4.0»

Существующие на сегодняшний день рынки транспорта и продажи энергии, а также энергетическая инфраструктура, активно развивались в эпоху второй промышленной революции вплоть до середины XX века. На сегодняшний день, в эпоху уже третьей промышленной революции, топливно-энергетический комплекс является наиболее консервативным элементом, сдерживающим национальные экономики.

Однако следующий этап развития в рамках концепции четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» не может существовать без глубокой интеграции систем энергоснабжения, в которой разрозненные в управлении и законодательстве системы электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения образуют «систему систем» (System of System – SoS). Требования к энергетике меняются, и эти изменения неизбежно будут требовать от энергии большей интеграции в техносферу. При этом, в результате перехода на «энергоэффективное мышление», роль человека меняется от потребителя к активному субъекту в интегрированных интеллектуальных системах SoS.

Концепция Индустрия 4.0. является основной в эпоху четвертой промышленной революции. Идеей четвертой промышленной революции в свою очередь является объединение различных устройств, используемых в человеческой деятельности от устройств личного использования до промышленных устройств, процессов и людей посредством цифровых и информационных технологий. Целью четвертой промышленной революции является создание умных заводов, где промышленные машины, люди, продукция общаются между собой с помощью цифровых технологий и интернета.

С точки зрения промышленных предприятий основной идеей Индустрии 4.0. является переход от массового серийного производства продукции к индивидуальной продукции, продукции для конкретного заказчика с особой формой, весом, цветом и т.д. Для реализации этой идеи необходимо перестроить существующие производственные линии и адаптировать предприятие к работе таким образом, чтобы товары индивидуального потребления стали выгодными как для производителей, так и для потребителей.

Первой промышленной революцией стало изобретение парового двигателя во второй половине XVII века в Великобритании. Но период революции охватывает XVIII—XIX века, в разных странах революция протекала не одновременно. Паровые двигатели использовали в насосах, затем в паровозах, пароходах, а также и в производстве. Паровая энергия повлияла на развитие металлургии, машиностроения, транспорта и других отраслей промышленности. Произошел переход от ручного труда к механическому и наблюдался резкий рост производительности.

Вторая промышленная революция связана с изобретением конвейера Генри Фордом и поточным производством. Период охватывает времена со второй половины XIX по начало XX веков. В этот период также родилось множество других изобретений, бессемеровский способ выплавки стали, как первый недорогой способ получения качественной стали, электрическая энергия, широкое использование химикатов, телефон, телеграф и т.д.

Третья промышленная революция или «Цифровая революция» проходила в конце XX века (с 1970 г.) и связана с развитием электроники, цифровизации, компьютеризации, информационных систем, а также изобретением робота.

Четвертая промышленная революция берет начало в 2011 году, как Германская частно-государственная программа *industrie 4.0*, в рамках которой германские компании при поддержке федерального правительства в виде грантов создают цифровые, умные производства, устройства и изделия которых взаимодействуют друг с другом, и обеспечивают персонализированный выпуск продукции.

В Германии были сформулированы некоторые принципы Индустрии 4.0:

1. Совместимость – все устройства и машины должны уметь общаться друг с другом на одном языке посредством интернета вещей, т.е. они должны быть совместимы.
2. Прозрачность – создание цифровой копии продукта, сбор данных с микрочипов и датчиков, посредством которых устройства общаются.
3. Техническая поддержка – программное обеспечение производит сбор, анализ, систематизацию, визуализацию данных, полученных с датчиков, и помогает человеку принимать решение или принимает их в автоматическом режиме, тем самым высвобождая человеческие ресурсы.
4. Децентрализация управленческих решений, автоматизация различных решений системами, максимально полное человекозамещение.

Одним из важных составляющих Индустрии 4.0 является не продукт, а данные. Цифровизация производства связана с данными, большими массивами данных, которые нужно считывать, собирать, анализировать, систематизировать, обрабатывать, хранить, передавать, представлять в нужном виде и многое другое. Для этого необходимы соответствующие информационные системы, программные обеспечения, средства беспроводной передачи данных, облачные сервисы для обмена и хранения данных.

Ближайшие 20 лет энергетика различных регионов и стран должна справиться с вопросами обеспечения энергетической безопасности и стать гарантом «устойчивого развития» как основы удовлетворения своих потребностей для будущих поколений. Рост количества людей, нарастающая урбанизация и экспоненциально увеличивающиеся объемы информации потребуют увеличения на 50% потребления электроэнергии, при этом ужесточаются требования к экономичности, энергобезопасности, экологичности, энергоэффективности и адаптивности энергетической инфраструктуры. Потребление всех видов первичных энергоресурсов растет как функция от роста ВВП, даже несмотря на рост энергоэффективности, ускоренными темпами нарастает физический износ энергетической инфраструктуры. На фоне усиливающегося ограничения ресурсной базы традиционной энергетики роль интеллектуальной энергетики критически важна для всего мира, качественное изменение характера глобальных и локальных энергетических систем на основе цифровых и информационных технологий позволит осуществить интеграцию систем электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения.

Развитие цифровых и информационных технологий в последнее десятилетие стало возможным благодаря глубокой электрификации и возможности наращивать как информационно-коммуникационную инфраструктуру, так и средства обработки и хранения данных.

В рамках решения проблем растущего спроса на электроэнергию и физического износа сетей закономерным было рождение концепции «SmartGrid» (Умные сети электроснабжения), в основе которой лежит идея повышения управляемости потоками электроэнергией на основе информации. Подчинение тотальному контролю и управлению потребления электроэнергии должно было стать возможностью прервать парадокс Джевонса, утверждающего, что энергоэффективность увеличивает потребление энергии, так как в результате снижает относительную стоимость использования энергии. Однако цифровое изменение только электрической сети не сможет стать основой перехода к новому технологическому укладу. Сегодня очевидно, что интеллектуализации и интеграции должны быть подчинены все системы генерации, преобразования, транспортировки и использования энергии. В процессе изучения данной концепции не

было найдено определенного установившегося названия, такого как «SmartGrid». При этом в исследовании установлено, что лидирующие экономики мира отчетливо понимают, что коллаборация между SoS критически необходима в «Индустрии 4.0» для достижения общих целей устойчивого развития в интересах будущих поколений. Поэтому, чтобы подчеркнуть интегрирующую роль в дальнейшем предлагаем использовать термин - энергетическая «система систем» или «EnergySoS».

Словосочетание «EnergySoS», образованное из слов «энергия» и одноименного с "systemofsystem" международного обозначения сигнала бедствия «SOS», наиболее полно отражает сигнал будущих поколений к сегодняшнему «обществу потребления». Решением вызовов для энергетики в процессе экономических и социальных изменений в рамках «устойчивого развития» должна стать интеграция.

Интегрирующая роль «EnergySoS» является ключевой, поскольку коллаборация в рамках достижения общей цели необходима по нескольким направлениям:

- сотрудничество видов ресурсов – углеводороды, возобновляемые и вторичные энергетические ресурсы;
- сотрудничество различных видов генерации и накопителей – централизованной и децентрализованной, гибкой и нерегулируемой, накопителями минутными и сезонными, накопителями энергии и продуктов производства;
- сотрудничество участников - потребителей, передачи и производства энергии;
- сотрудничество оборудования – изношенное и новое, перегруженное и недоиспользуемое;
- сотрудничество видов потребителей энергии - бытовой, промышленный, транспорт и т.д.;
- сотрудничество в рамках предоставления услуг – поддержания устойчивости, качества, надежности, автономности, экологической безопасности, экономичности и др.;
- сотрудничество между SoS - «умный город», «умное месторождение», «умный завод» и т.д.

На сегодняшний день технологии промышленного интернета вещей (IndustrialInternetofThings, IIoT), Всеобъемлющего Интернета (InternetofEverything, IoE) и искусственного интеллекта (ArtificialIntelligence (AI)) являются одними из наиболее обсуждаемых тенденций в мире. Вещи нового поколения (smarthings – умные вещи) будут не только умными, но и интегрированными в сеть – они смогут взаимодействовать друг с другом или с внешней средой . Ключевая идея заключается в организации вычислительной сети реальных физических объектов: автомобилей, электродвигателей, беспилотных летательных аппаратов, роботизированных узлов, «умных счетчиков» и т. д. Количество подключенных устройств экспоненциально возрастает. IBM, Gartner, Cisco, Siemens предсказывают 50 миллиардов подключенных устройств до 2020 года. Взаимопроникновение информационных и эксплуатационных технологий позволило обратиться компаниям к теории автоматического управления. Благодаря взаимосвязанности, автоматизации и анализу данных информационные технологии усиливают технический потенциал.

Появление цифровых производств, умных фабрик и высокотехнологичных пространств способно перевернуть подход к энергообеспечению потребителя, поскольку достичь устойчивости и надежности энергоснабжения, повысить пропускную способность электрических сетей, автоматизировать контроль над потреблением электроэнергии возможно только за счет использования кардинально новых подходов, материалов и технологий. Фактически сетевая инфраструктура должна адаптироваться под требования клиента, которые продолжают неуклонно расти ввиду ежегодного повышения спроса на электроэнергию.

Кроме этого, наличие полностью управляемых автоматизированных комплексов, огромного количества потребителей, обладающих собственными резервными источниками питания, и необходимость создания условий для стимулирования

использования технологий энергосбережения обуславливают состояние того, что именно энергетический комплекс, который во времена ГОЭРЛО был драйвером технологической революции, сегодня требует неотложной модернизации и реконструкции для создания максимально эффективной электросетевой инфраструктуры.

Так, отсутствие развития научного и инновационного потенциала электросетевого комплекса может стать тормозом для индустриальной революции, именуемой в мире Индустрия 4.0. Интегрирующая роль сетевого комплекса становится жизненно необходимой для получения новых механизмов взаимодействия и запуска бизнес-процессов другого уровня с большим количеством участников.

Цифровая трансформация не может затрагивать только одну область энергетики или сферу услуг, она должна охватить множественные компоненты существующей структуры энергетики и электрических сетей и преобразовать её в инновационный драйвер способный дать толчок для развития качества жизни, повышению энергоэффективности производства, увеличения ВВП.

Ожидается, что в рамках усовершенствованной инфраструктуры интеллектуальных сетей появятся новые управленческие услуги и приложения, которые, в конечном итоге, изменят повседневную жизнь потребителей.

Очевидно, что для энергетического перехода и интеграции распределенных энергоресурсов и централизованных энергосистем необходимо стимулировать общие экосистемы по развитию цифровых и информационных технологий, которые станут локомотивом для технологий и оборудования интеллектуальных энергетических систем. Проникновение цифровизации во все слои ТЭК способствует созданию кардинально новых экономических отношений, приводящих к изменению глобальной структуры энергетического рынка, где на сегодняшний день прибыль, извлекаемая энергосбытовыми (энергоснабжающими) организациями и производителями электрической энергии, ограничивается платежеспособным спросом потребителей и ценой на газ, как основным источником генерации. Действующая система ценообразования тарифов, которые сегодня покрывают не только все необходимые затраты энергосбытовых компаний, но также включают в себя дополнительную прибыль, должна быть полностью реорганизована за счет внедрения цифровых технологий, проникновение которых в обозримом будущем позволит объединить реальный и виртуальный мир, что в свою очередь качественно преобразит экономику и энергетические рынки. Кроме этого, за счет появления новых субъектов потребления (просьюмеров, активных потребителей, агрегаторов) возврат неиспользуемых зарезервированных мощностей позволит не создавать дополнительно сетевые мощности, финансирование которых происходит за счет увеличения тарифа для населения и конечного потребителя.

Данный вопрос является актуальным, поскольку многие важные проблемы, стоящие перед обществом, связаны именно с наличием, разработкой и использованием энергетических ресурсов. Оценка доступности энергии и минеральных источников, высокий уровень технологической составляющей, развитие прикладных цифровых технологий с помощью научно-образовательных центров и международных центров компетенций помогут принимать обоснованные решения в отношении этих ресурсов. Таким образом, вариант цифрового развития ТЭК России создаст предпосылки для сдерживания роста цен на электроэнергию за счет повышения эффективности использования генерирующих и сетевых мощностей, сокращения потребности в новых мощностях, сокращения потерь энергии, возникновения новых рынков в том числе и для пользователей, что позволит улучшить качество жизни населения и позволит перейти к более развитому обществу и процветающей экономике как основе устойчивого развития.

*Слайды к лекции.*

**The stages of developing of automated control system in industrial production**

Or why is it so difficult

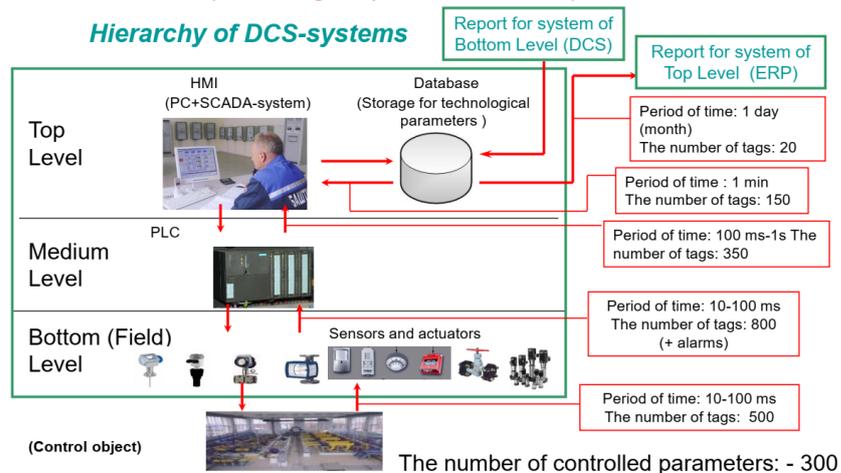


**THE MAIN TERMS OF MODERN INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM**

- PLC
- DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS
- ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS
- ADVANCED PROCESS CONTROL
- SYSTEM INTEGRATION



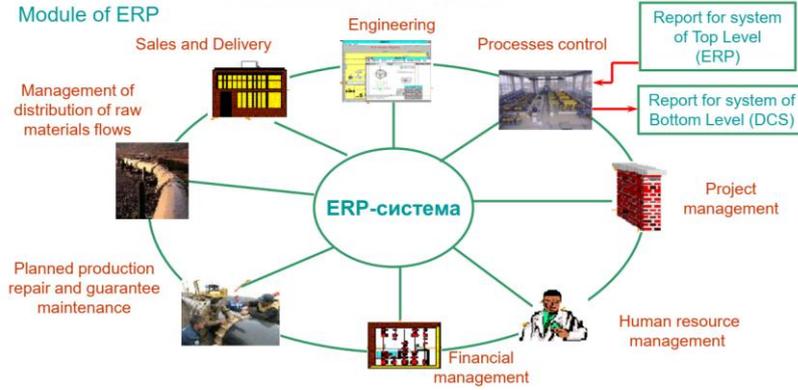
**DCS- system Distributed Control System**  
(technological processes control)



# ERP-system (enterprise control)

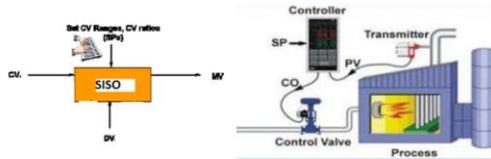
ERP (Enterprise Resource Planning System) –

## Architecture of ERP-system

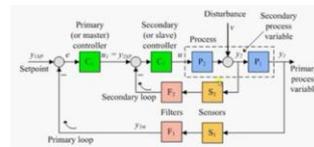


## What is the main idea of advanced process system

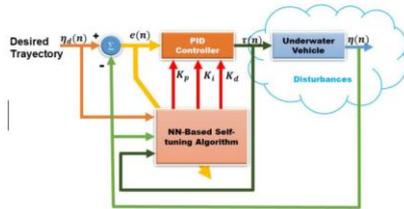
### One loop control



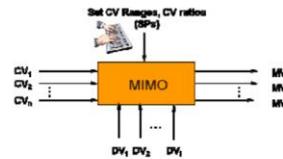
### Cascade control



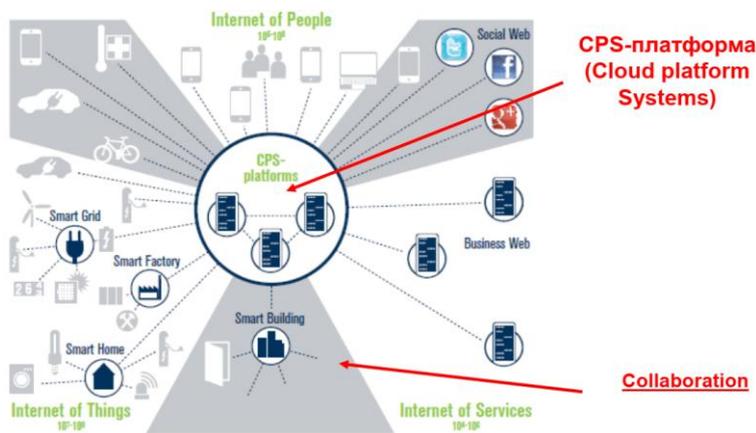
### Advanced methods of pid tuning



### Multivariable control



## Industry 4.0



## Практические занятия

### Применение нейросетей для обработки экспериментальных данных

**Цель работы.** Научиться применять теорию нейронной сети для решения различных задач.

#### *Основные теоретические сведения.*

Нейронная сеть – это искусственный математический аналог человеческого мозга. Как известно из биологии мозг состоит из нейронов и синапсов. Искусственная нейронная сеть также состоит из совокупности нейронов и связей между ними синапсов. Пример структуры нейронной сети представлен на рисунке 33.

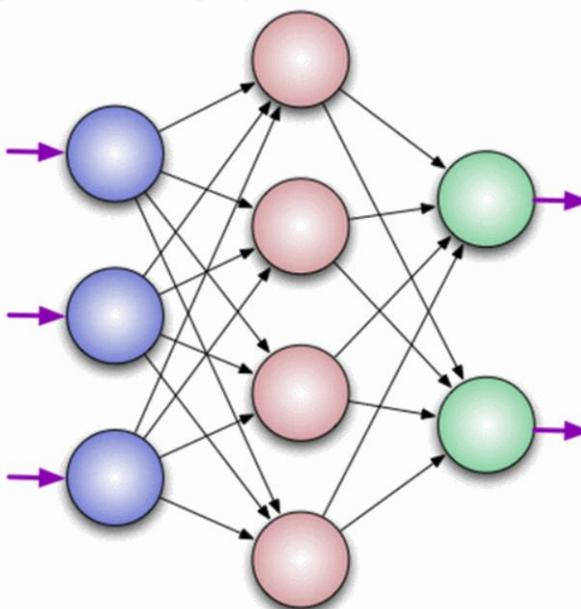


Рисунок 3. Пример структуры нейронной сети.

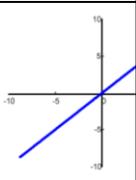
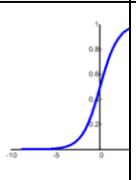
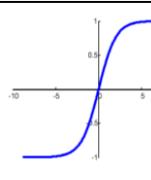
В типовой структуре нейронной сети существует входной слой, скрытый слой и выходной.

На рисунке представлена сеть, состоящая из одного скрытого слоя, содержащего 4 нейрона. Входной слой содержит три нейрона и выходной 2 нейрона. Число нейронов во входном и выходном слоях обычно определяется условиями поставленной задачи. Число нейронов в скрытом слое определяется специальными правилами или экспериментальным путем.

Каждый нейрон может оперировать только с числами в диапазоне  $[0,1]$  или  $[-1,1]$ . Для приведения значений к данным диапазонам в нейронах используется функция активации (Таблица 13). Функция активации нормализует входные данные и приводит их к диапазонам  $[0,1]$  или  $[-1,1]$ . Функций активации множество, основными из них является Линейная, Сигмоидальная (Логистическая) и Гиперболический тангенс.

Таблица 1

#### Функции активации

Линейная	Сигмоидальная	Гиперболический тангенс
$f(x) = x$	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$	$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$
		

Процесс создания нейронной сети содержит в себе ряд обязательных этапов, среди которых:

1. Формирование обучающей выборки
2. Формирование тестовой выборки
3. Определение структуры и архитектуры сети
4. Обучение сети
5. Тестирование работоспособности сети
6. Дообучение сети (при необходимости)

### **Информационные технологии в энергетическом секторе**

Ключевые технологии, применяемые для создания и развития интеллектуальных электроэнергетических систем, можно разделить на три уровня:

- уровень первичного оборудования;
- уровень сбора, обработки и передачи данных;
- уровень облачных платформ.

*Уровень первичного оборудования.*

#### 1) Устройства распределенной генерации.

Термин распределенная генерация описывает группу устройств, генерирующих электроэнергию в непосредственной близости от места, в котором она будет потребляться. Распределенная генерация может использоваться для одного потребителя (например, для частного дома или бизнеса), или быть частью микроэнергосистемы (Microgrid). При подключении на низшем напряжении распределенная генерация может помочь обеспечить передачу электроэнергии дополнительным потребителям и снизить потери в линиях электропередач.

Для направления интеллектуальных систем энергоснабжения наибольший интерес вызывает использование ВИЭ, а именно генерирующих установок, не использующих углеводородное топливо.

Основными преимуществами ВИЭ являются:

- отсутствие выбросов в атмосферу, которые имеют место при работе генерирующих установок электростанций на углеводородном топливе;
- возможность повсеместного использования данных устройств в том числе для личного использования;
- уменьшение потерь при передаче от производителя электроэнергии к конечному потребителю;
- уменьшение зависимости от централизованного электроснабжения, как следствие повышение надежности электроснабжения;
- возможность электрификации труднодоступных районов.

К недостаткам ВИЭ относятся:

- отсутствие постоянной выработки электроэнергии, так как выработка электроэнергии всецело зависит от погодных условий, невозможно генерировать

электроэнергию ночью при использовании солнечных панелей или в безветренную погоду при использовании ветрогенераторов;

- малый коэффициент полезного действия.

Главным недостатком распределенной генерации является сложность управления потоками мощности при наличии нескольких генерирующих установок, что может привести к неправильной работе релейной защиты, и, как следствие, отключению потребителей.

## 2) Накопители электроэнергии.

Накопители электроэнергии — важнейший элемент интеллектуальных сетей. Накопители электроэнергии позволяют разнести процесс генерации и потребления электроэнергии во времени, тем самым повышая эффективность возобновляемых источников электроэнергии. Накопители электроэнергии активно используются в рамках концепции microgrid, позволяя потребителям реализовать технологии ценозависимого спроса, т.е. накапливать электроэнергию в периоды низкой цены на электроэнергию и сбрасывать в периоды высокой цены. Развитие технологий систем управления в будущем позволят участникам рынка передавать электроэнергию между накопителями в рамках микроэнергосистемы, тем самым реализуется концепция «Интернет Энергии» (IoE) .

Применение накопителей позволяет достичь:

- выравнивают график электрических нагрузок;
- демпфируют колебания мощности (обеспечивают регулирование частоты в энергосистеме);
- покрывают пиковые нагрузки (расширяют доступный уровень мощности для потребителя);
- обеспечивают регулирование уровня напряжения в энергосистеме;
- стабилизируют работу децентрализованных источников электроэнергии;
- оптимизируют потребление электроэнергии у конечного потребителя;
- снижают операционные и эксплуатационные расходы генерирующего и сетевого оборудования, увеличивают пропускную способность сети;
- повышают надежность электроснабжения потребителей;
- повышают качество электрической энергии;
- обеспечивают интеграцию комплексов на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ);
- обеспечивают участие крупных потребителей в программе «Управление спросом».

## 3) Автономное газовое снабжение.

Автономное газовое снабжение — технология, позволяющая газифицировать объект при отсутствии центральной газовой магистрали. Применение данной технологии в совокупности с датчиками тепла, позволят интеллектуальной системе управлять расходом газа в реальном времени, опираясь на прогноз погоды и множество других

факторов. Совокупность данных решений позволит существенно экономить средства потребителя.

#### *Уровень сбора, обработки и передачи данных .*

Интеллектуальное устройство потребителя — это устройство позволяет осуществлять функции контроля и мониторинга всей системы, регулирования настроек оборудования, сигнализации и выдача команд управления, передачи данных в облачные платформы, реализация функций агента (просьюмера) на рынке.

#### *Уровень облачных платформ.*

Информационная платформа (PaaS) — модель предоставления облачных вычислений, при которой потребитель получает доступ к использованию информационно-технологических платформ: операционных систем, систем управления базами данных, связующему программному обеспечению, средствам разработки и тестирования, размещённым у облачного провайдера.

Основными функциями платформы являются:

- сбор и хранение данных;
- Digital Twin — цифровой аналог физического устройства, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействий помех и окружающей среды;
- аналитические приложения, такие как прогнозирование (Data mining);
- реализация рыночных механизмов взаимодействия между устройствами, например, проведение торгов электроэнергией, функции выставления счетов, агрегаторы нагрузки и генерации;
- оптимизационные задачи управления;
- предсказание технического состояния, управление ремонтами и технического обслуживания оборудования.

Внедрение технологических инноваций должно привести к существенному повышению качества электроэнергии, производительности энергосистем, ускорению процессов автоматизации при одновременном сокращении затрат. Наиболее важными перспективами развития направления комплекса интеллектуальных систем энергоснабжения являются:

- повышение эффективности ВИЭ и накопителей электроэнергии;
- внедрение и развитие технологий искусственного интеллекта;
- создание технологической и производственной базы в сфере интеллектуального энергоснабжения в России.

### **Обработка цифровых сигналов.**

#### ***Порядок выполнения работы***

1. Запустите ПО Matlab (Нажмите ярлык Matlab.exe на рабочем столе)
2. File-Newscript
3. Сформируем обучающие и тестовые выборки

Размер обучающей выборки – 1000 значений, размер тестовой выборки – 300 значений.

Создадим матрицы a, b, c размерностью 1x1300 (1 строка, 1300 столбцов), матрицы заполним случайными числами, распределенными по нормальному закону со средним значением равным нулю и стандартным отклонением равным единице.

```

a= random ('Normal',0,1,1,1300);
b= random ('Normal',0,1,1,1300);
c= random ('Normal',0,1,1,1300);

```

Рисунок 4. Задание матриц a, b, c в MATLAB

4. Согласно уравнению  $d=a^2+2b+3c$  зададим матрицу d.

```

for i=1:1300
    d(1,i)=a(1,i)*a(1,i)+2*b(1,i)+3*c(1,i);
end

```

Рисунок 5. Задание матрицы d в MATLAB

5. Запустим код на исполнение в специальной рабочей зоне Workspace можно увидеть созданные нами переменные и их значения. Кликнув мышью на любую из переменных откроются в специальном окне ее значения.

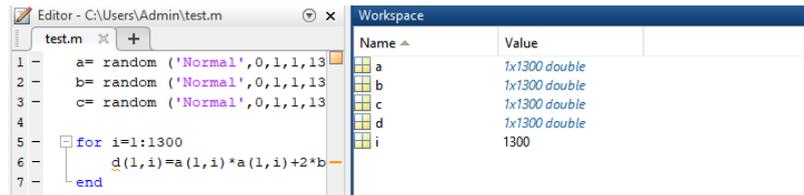


Рисунок 6. Пример рабочей зоны Workspace

6. Зададим матрицу xvh входных значений, составленную путем объединения матриц a, b, и c (см. рис. 37). Таким образом, xvh - обучающая выборка для будущей нейронной сети. Данная обучающая выборка состоит из тройки чисел a,b,c (входы модели), которая однозначно соответствует числу d (выход модели). Всего обучающая выборка содержит 1000 значений, то есть соответствий тройки чисел a,b,c числу d. По данной обучающей выборке инструмент создания нейросетевой модели NeuralNetworkFittingTool построит модель нейронной сети, а затем обучит на примере 1000 сэмплов вычислять значение d при заданных числах a,b,c.

```

for i=1:1000
    xvh (1,i)=a(1,i);
    xvh (2,i)=b(1,i);
    xvh (3,i)=c(1,i);
    dh (1,i)=d(1,i);
end

```

Рисунок 7. Задание обучающей выборки xvh

Тестовая выборка содержит 300 значений. Для ее формирования необходимо ввести код

```

for i=1001:1300
    xvt (1,i-1000)=a(1,i);
    xvt (2,i-1000)=b(1,i);
    xvt (3,i-1000)=c(1,i);
    dt (1,i-1000)=d(1,i);
end

```

7. Создание нейронной сети

Откройте вкладку Apps и откройте NeuralFittingapp. Если его нет в списке введите сверху в строке поиска имя данного приложения.

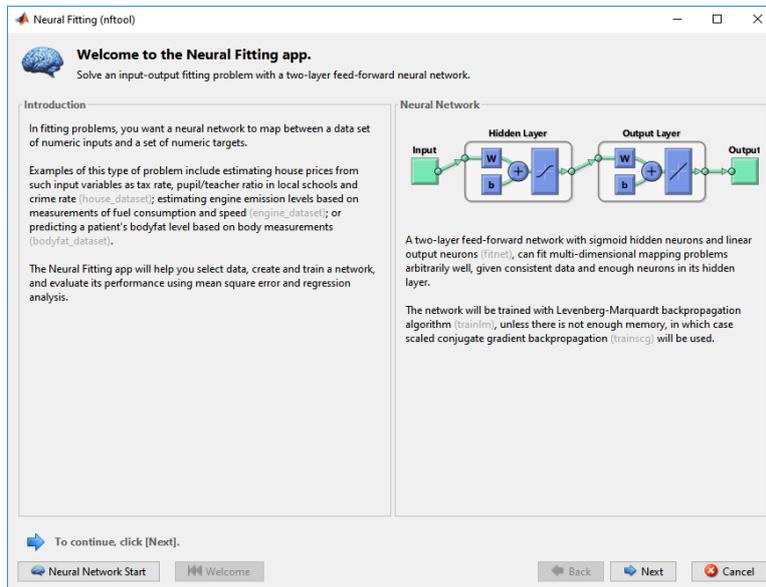


Рисунок 8. Окно приложения NeuralFitting

Данное приложение позволяет настраивать, обучать и тестировать нейронную сеть. На второй вкладке выбираем вход и выход обучающей выборки.

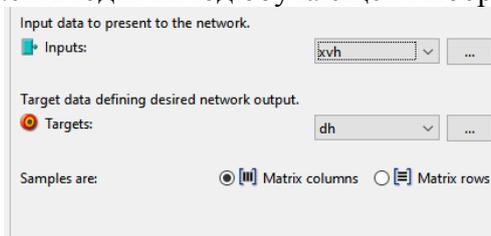


Рисунок 9. Вход и выход обучающей выборки

В двух последующих вкладках смотрим настройки сети ее структуру и др. параметры, в третьей вкладке нажимаем кнопку обучить сеть. В конце обучения можно увидеть следующую форму.

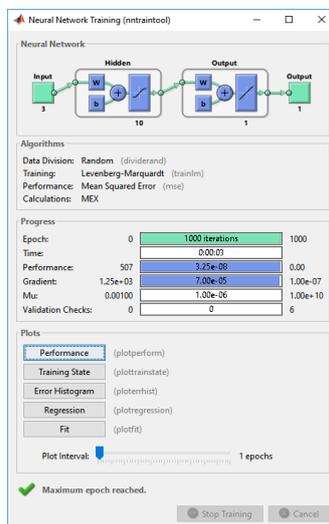


Рисунок 10. Окно обучения нейронной сети.

8. Создание и обучение нейронной сети прошло успешно, так как выход модели соответствует значению в выборке.

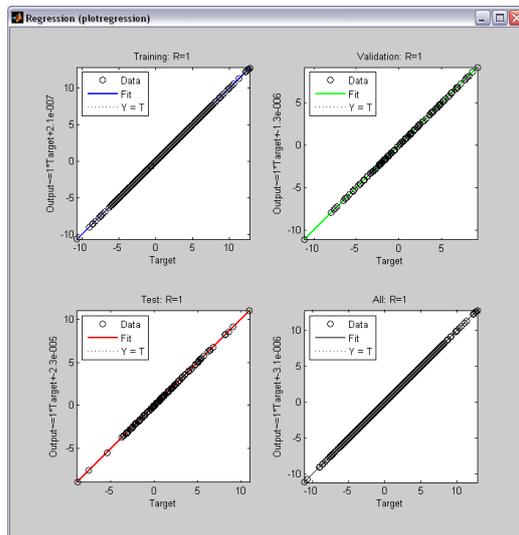


Рисунок 11. Коэффициенты корреляции обучающей, валидационной и тестовой выборки

9. Протестируем работу сети. Перейдем на следующую вкладку и выберем тестовые выборки

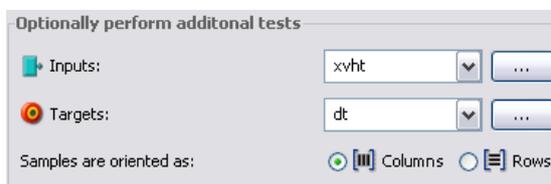


Рисунок 12. Тестовая выборка

10. Проверка модели по тестовой выборке прошла успешно (см. рис. 43).

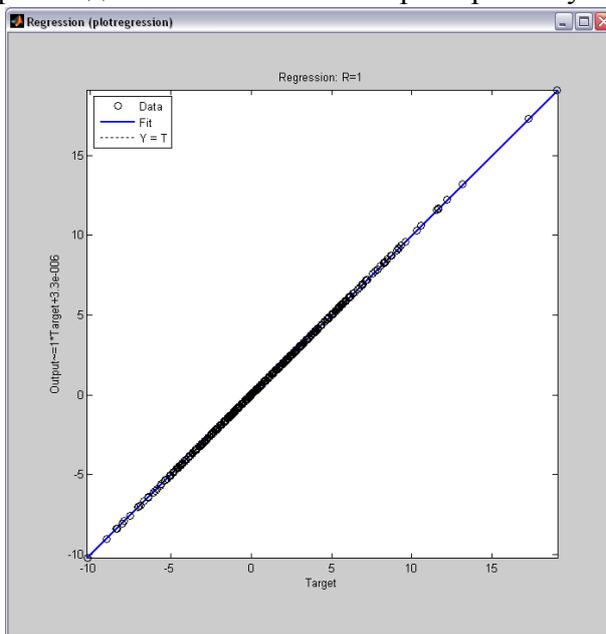
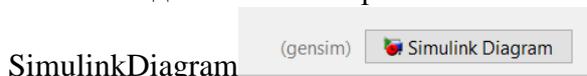


Рисунок 13. Проверка модели по тестовой выборке

11. Создадим модель нейронной сети, которая может быть интегрирована в различные приложения. Создадим модель на примере среды моделирования работы АСУТП в динамическом режиме Simulink. Для этого в приложении NNF нажмите кнопку



откроется окно с блоком модели нейронной сети .

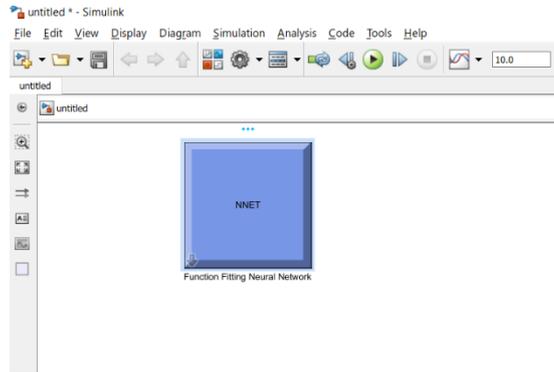


Рисунок 14. Модель нейронной сети в Simulink.

12. Убедимся на примере, что нейронная сеть действительно правильно рассчитывает число  $d$  по заданным  $a, b, c$ . Для этого в MATLAB Simulink создадим модель, в которой на дисплей выведем значение по модели (Display) и значение по аналитическому выражению (Display1).

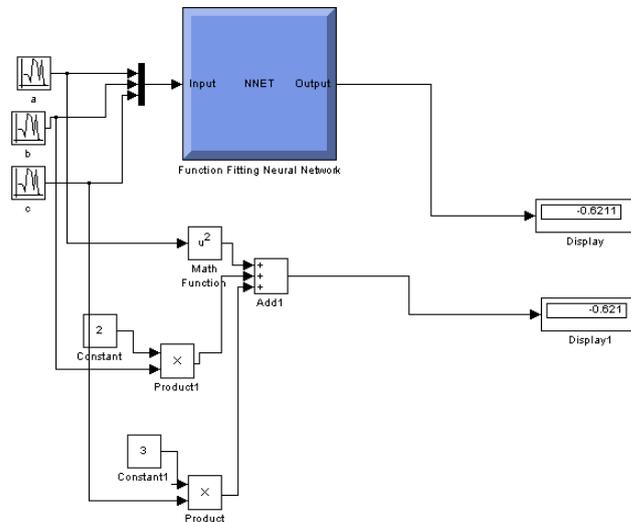


Рис 15. Проверка модели

13. Как видно из рис., значения по модели и по выражению совпадают. Таким образом, модель нейронной сети готова.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое искусственная нейронная сеть? Из какие ь элементов она состоит
2. Что такое нейрон? Укажите основные его особенности
3. Что такое функция активации? Для чего используется функция активации
4. Назовите правила для формирования тестовой и обучающей выборки
5. Укажите основные команды и принципы создания искусственной нейронной сети в Matlab

## **Организация передачи данных в интеллектуальных системах электроснабжения**

### **Основные теоретические сведения**

Основные теоретические сведения в данной работе затрагивают вопросы структуры АСУТП, OPC-сервера, протокола MODBUS и прочих вопросов, необходимых для выполнения лабораторной работы.

### **Иерархическая структура АСУТП**

АСУТП - автоматизированная система управления технологическими процессами промышленного предприятия.

АСУТП традиционно имеет трехуровневую иерархическую структуру (рисунок 12).

На нижнем уровне АСУТП располагаются: объект управления (технологический процесс или агрегат); датчики, осуществляющие измерение значений основных технологических параметров в режиме реального времени; исполнительные механизмы, осуществляющие изменение хода технологического процесса.

На среднем уровне АСУТП располагаются программируемый логический контроллер (ПЛК) или другая управляющая машина.

Верхний уровень АСУТП традиционно представлен автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ-оператора) и базой данных с архивом основных технологических параметров.

АРМ-оператора представляет собой персональный компьютер с установленным на него специализированным программным обеспечением - SCADA-системой.

SCADA-система (Supervisory Control And Data Acquisition) - система контроля, управления, визуализации и сбора данных в режиме реального времени.

База данных с архивом основных технологических параметров является важным элементом АСУТП. В ней сохраняется важная информация о ходе технологического процесса, обрабатывая которую можно извлечь дополнительные знания и выявить наилучшую стратегию управления.

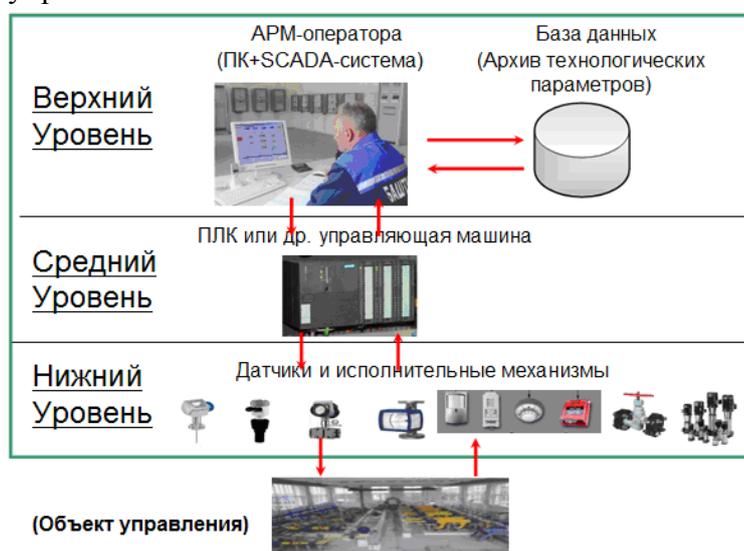


Рисунок 16. Структура АСУТП

Все данные, которые записываются в архив, можно разделить на три группы: значения основных технологических переменных процесса, аварийные сообщения и действия операторов.

### ОПС-сервер и особенности его использования

Передача промышленных данных по каналам связи осуществляется с помощью различных протоколов. Протоколом называется формализовано заданные процедуры взаимодействия сетевых компонент, решающих задачу связи между этими компонентами. Традиционно передача промышленных данных от ПЛК к SCADA-системам может осуществляться двумя способами: с использованием специального закрытого протокола передачи данных, разработанного компанией-производителем ПЛК и с использованием открытых стандартизированных протоколов передачи данных (например, протоколов по стандарту OPC).

Альтернативной использования специального фирменного протокола при организации канала связи для передачи промышленных данных между ПЛК и SCADA-системой является OPC-сервер.

Стандарт OPC (OLE for Process Control – OLE для управления технологическим процессом) предоставляет возможность интеграции частей АСУТП за счет реализации

единого интерфейса для всех объектов автоматизации и применения для этого единой стратегии.

OPC-сервер используют в том случае, когда в структуре АСУТП на уровне используется оборудование разных производителей или одного производителя, но разного поколения.

### Особенности использования промышленного протокола MODBUS.

MODBUS – Специализированный коммуникационный промышленный протокол, используемый для связи устройств и передачи данных. Протокол MODBUS основан на архитектуре master-slave (ведущий-ведомый). В качестве интерфейсов передачи данных протокол MODBUS может использовать интерфейсы RS-485, RS-422, RS-232 (MODBUS RTU) и Ethernet (MODBUS TCP).

Структура сообщения представлена на рисунке 13 и содержит в себе адрес устройства (SlaveID), контрольную сумму (CRC) и PDU, содержащую код функции и специальные данные.

SlaveID	Код функции	Специальные данные	RC
---------	-------------	--------------------	----

Рисунок 17. Структура сообщения MODBUS

Для обозначения адреса устройства (SlaveID) могут быть использованы значения от 0 до 247. Значения 248-255 специально зарезервированы и не могут быть использованы для обозначения адреса устройства.

Данные в модуле хранятся в 4 таблицах.

Две таблицы доступны только для чтения и две для чтения-записи. В каждой таблице помещается 9999 значений.

Таблица 2.

Наименование регистров MODBUS

Номер регистра	Адрес регистра HEX	Тип	Название	ип
1-9999	0000 до 270E	Чтение-запись	DiscreteOutputCoils	DO
10001-19999	0000 до 270E	Чтение	DiscreteInputContacts	DI
30001-39999	0000 до 270E	Чтение	AnalogInputRegisters	AI
40001-49999	0000 до 270E	Чтение-запись	AnalogOutputHoldingRegisters	AO

В сообщении Modbus используется адрес регистра. Например, **первый** регистр AO HoldingRegister, имеет **номер** 40001, но его **адрес** равен 0000. Разница между этими двумя величинами есть смещение offset. Каждая таблица имеет свое смещение, соответственно: 1, 10001, 30001 и 40001.

При подключении по протоколу MODBUS устройств необходимо учитывать их характерные особенности – особенности настройки связи и номера регистров, в которых хранится необходимая информация. Особенности использования протокола MODBUS при подключении счетчика электрической энергии серии iEM3100 SchneiderElectric представлены на рисунках.

#### Настройка связи с протоколом Modbus

Прежде, чем установить связь с устройством с помощью протокола Modbus, используйте интерфейс для конфигурации нижеследующих настроек:

Настройки	Возможные значения
Скорость передачи данных, в Бодах	9600 Бод 19 200 Бод 38 400 Бод
Чётность	Нечётный Чётный Нет
Адрес	1-247

Рисунок 18. Копии документации счетчика электрической энергии. Настройка связи по протоколу MODBUS

Данные счетчика

Ток, напряжение, коэффициент мощности и частота					
Адрес регистра	Действие Чтение / Запись / Запись по команде (R/W/WC)	Размер	Тип	Единицы измерения	Описание
<b>Ток</b>					
3000	R	2	Float32	A	I1: фаза 1 ток
3002	R	2	Float32	A	I2: фаза 2 ток
3004	R	2	Float32	A	I3: фаза 3 ток
3010	R	2	Float32	A	Средний ток
<b>Напряжение</b>					
3020	R	2	Float32	V	Напряжение фаза1-фаза2
3022	R	2	Float32	V	Напряжение фаза2-фаза3
3024	R	2	Float32	V	Напряжение фаза1,3-фаза1,1
3026	R	2	Float32	V	Напряжение фаза - фаза среднее
3028	R	2	Float32	V	Напряжение фаза1-нейтраль
3030	R	2	Float32	V	Напряжение фаза2-нейтраль
3032	R	2	Float32	V	Напряжение фаза3-нейтраль
3036	R	2	Float32	V	Напряжение фаза1-нейтраль среднее
<b>Мощность</b>					
3054	R	2	Float32	кВт	Активная мощность на фазе 1
3056	R	2	Float32	кВт	Активная мощность на фазе 2
3058	R	2	Float32	кВт	Активная мощность на фазе 3
3060	R	2	Float32	кВт	Полная реактивная мощность
3068	R	2	Float32	кВАр	Не предусмотрено для IEM3150 / IEM3250 / IEM3350
3076	R	2	Float32	кВА	Полная кажущаяся мощность Не предусмотрено для IEM3150 / IEM3250 / IEM3350
<b>Коэффициент мощности</b>					
3084	R	2	Float32	-	Суммарный коэффициент мощности -2 < PF < -1 = Квадрант 2, активная мощность отрицательная, емкостная -1 < PF < 0 = Квадрант 3, активная мощность отрицательная, индуктивная 0 < PF < 1 = Квадрант 1, активная мощность положительная, индуктивная 1 < PF < 2 = Квадрант 4, активная мощность положительная, емкостная
<b>Частота</b>					
3110	R	2	Float32	Гц	Частота

Рисунок 19. Адреса регистров для основных электрических параметров счетчика

### Информационные технологии в энергетическом секторе

**Цель работы.** Ознакомится с основными принципами настройки и подключения Acti9Smartlink - интерфейса связи для модульного оборудования, устанавливаемого на DIN-рейку

#### Основные теоретические сведения

Acti 9 Smartlink – это специальный интерфейс связи, передающий данные от устройств Acti 9 на контроллер или систему.

Передача следующих данных между сетью Modbus и устройствами Acti 9. Acti 9 Smartlink обеспечивает выполнение следующих функций для различных типов устройств:

1. Автоматические выключатели, выключатели дифференциального тока, дифференциальные автоматические выключатели:

- состояние «включено»/«отключено»;
- состояние «аварийное отключение»;
- количество циклов включения/отключения;
- количество аварийных отключений.

2. Контактторы, импульсные реле:

- управление включением;
- управление отключением;
- состояние «включено»/«отключено»;
- количество циклов;
- общая продолжительность работы нагрузки (устройство включено).

3. Автоматический выключатель со встроенным дистанционным управлением Reflex iC60:

- управление включением;
- управление отключением;
- состояние «включено»/«отключено»;
- состояние «аварийное отключение»;
- количество циклов;
- общая продолжительность работы нагрузки.

4. Счетчики электроэнергии:

- количество записанных импульсов;
- настройка значения импульса (напр.: кВт•ч);
- запись суммарного потребления;
- оценка потребляемой мощности.

На рисунке представлена схема подключения устройств через интерфейс Acti 9 Smartlink.

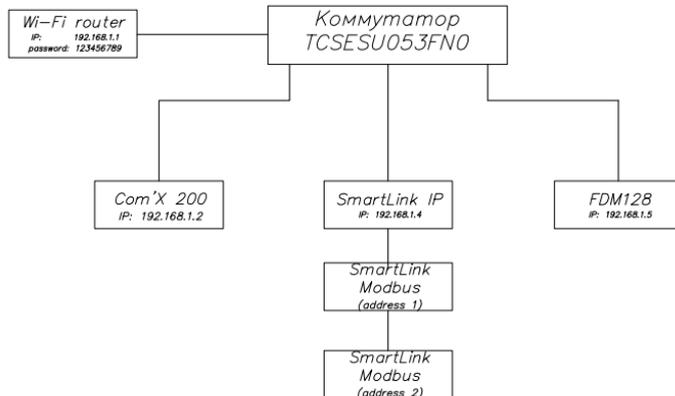


Рисунок 20. Схема подключения шины Acti9 Smartlink.

На рисунке представлен внешний вид шины Acti9 Smartlink.

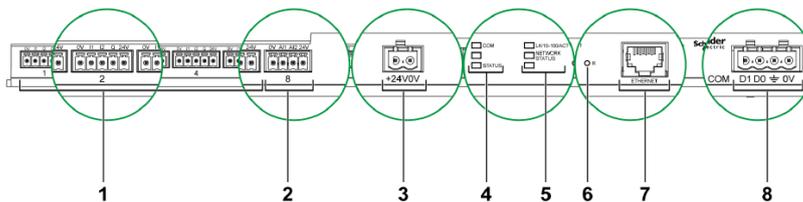


Рисунок 21. Внешний вид шины Acti9 Smartlink 1- 7 цифровых входов и выходов, 2 – один аналоговый канал с двумя входами, 3 – Питание 1\*24В, 4 – Индикаторы состояния статуса шины, 5 – индикаторы состояния Ethernet, 6 – кнопка перезагрузки, 7 – порт для Ethernet соединения, 8 - порт для Modbus соединения

Для настройки шины Acti9 Smartlink необходимо подключить SmartlinkIP к компьютеру напрямую через Ethernetcommunicationport. Случае, когда настройками безопасности разрешено обнаружение устройств в сетевом окружении шина обнаруживается автоматически.

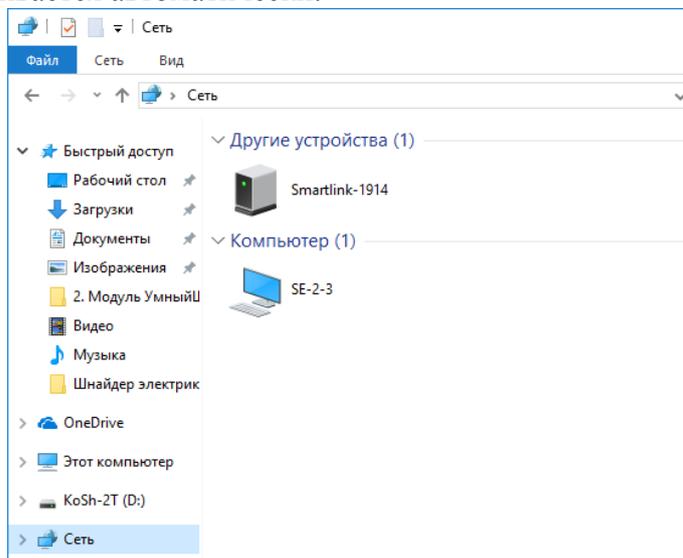


Рисунок 22. Автоматическое обнаружение Acti9 Smartlink в сетевом окружении.

Конфигурирование шины Acti9 Smartlink происходит через Web интерфейс. Для открытия Web страницы для настройки устройства необходимо щелкнуть двойным кликом по устройству, обнаруженному в сетевом окружении.

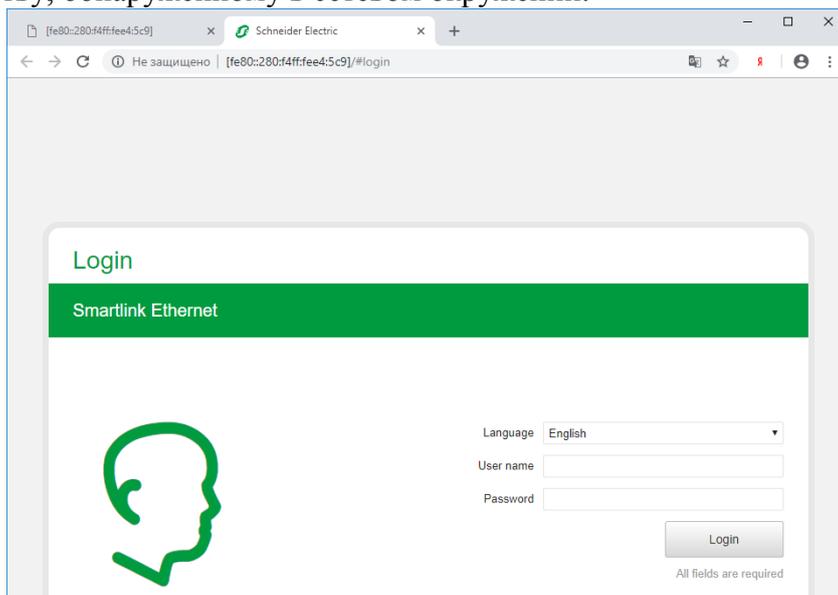


Рисунок 23. Стартовая страница конфигурирования Acti9 Smartlink

Важную информацию содержит адресная строка Web страницы – она отображает IP адрес устройства. Он может быть представлен в двух версиях IPv6 и IPv4. Версия адреса устройства, используемого при подключении оказывает влияние на возможность подключение между устройствами, находящимися/не находящимися в разных сетях и пр. Правила использования подключения по IPv6 или IPv4 не противоречат общим правилам подключения двух устройств с точки зрения информационных технологий.

Первая вкладка Web страницы – панель быстрого просмотра. На ней отображаются состояния контактов и обрывы связи, если они существуют на каких-либо каналах.

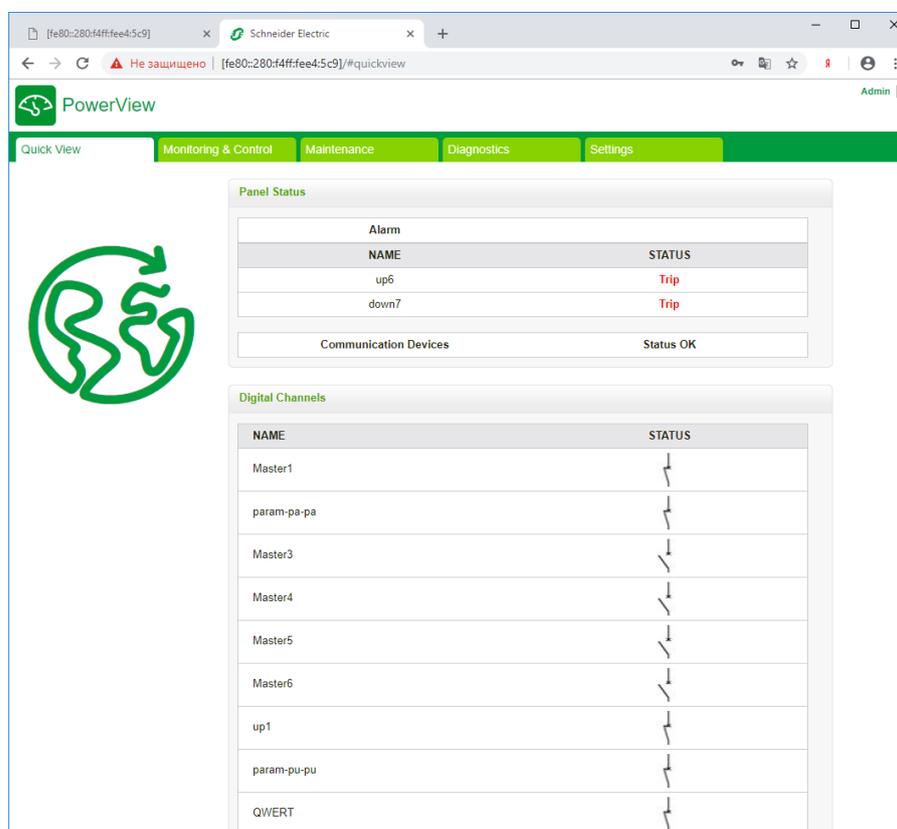


Рисунок 24. Стартовая страница быстрого просмотра WEB конфигуратора Acti9 Smartlink

Кроме того, конфигуратор содержит следующие страницы настройки:

1. «Управление и контроль». На данной странице можно увидеть состояние подключенных к Smartlink шине устройств, а также выполнить команды на управления теми устройствами, которые поддерживают функцию управления. Для этого необходимо нажать на соответствующие кнопки OPEN/CLOSE. В случае, если данные кнопки не активны, функция управления для данного устройства не поддерживается.

CHANNEL	NAME	STATUS	CONTROL		PRODUCT	LABEL
1	GF2	⚡	OPEN	CLOSE	IOF+5024	--
3	GF2.1	⚡	OPEN	CLOSE	IOF+5024	--
4	GF4	⚡	OPEN	CLOSE	IOF+5024	--
5	GF2.2	⚡	OPEN	CLOSE	IOF+5024	--

Рисунок 25. Внешний вид поля управления устройствами, подключенными к Smartlink шине

2. «Техническое обслуживание». На данной вкладке показана различная информация об устройстве – Версия программного обеспечения, серийный номер и т.д.

3. Вкладка «Диагностика». На данной вкладке представлены различные данные диагностики состояния Smartlink шины – настройки и особенности функционирования устройства – дата/время и их синхронизация, количество включений выключений устройств, характеристики работы сетевых соединений и прочая информация.

4. Вкладка «Настройка». Вкладка настройки содержит информацию о различных настройках устройства : общих, сетевых, пользовательских, настроек событий и пр. На данной странице можно настроить – время и дату. Выполнить коммуникационные настройки Ethernet и MODBUS, настроить различные события и тревоги, подключить устройства по MODBUS в ручном и атематическом режиме. Настройка Ethernet соединения представлена на рисунке.

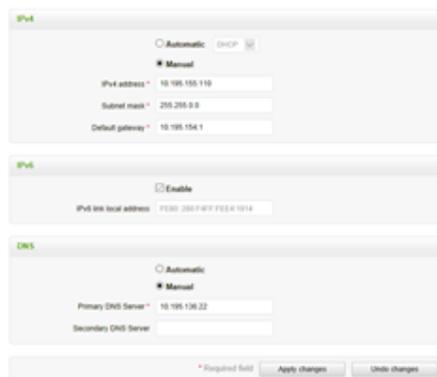


Рисунок 26. Настройка Ethernet соединения

Для работы со Smartlink шиной необходимо использовать различные сервисы Windows.

## Лабораторные работы

### Организация передачи данных в интеллектуальных системах электроснабжения

#### Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входит счетчик электрической энергии серии iEM3100 SchneiderElectric, ПК, OPC-сервер Kepware, SCADA-система ICONICSGenesys 32. Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 27.



Рисунок 27. Общий вид лабораторной установки.

**Порядок выполнения работы**

1. Подключите счетчик к ПК.
2. Выявите номер порта, который определился на стороне ПК.

Для этого правой кнопкой мыши щелкните на мой компьютер – свойства – диспетчер устройств. В диспетчере устройств можно увидеть номер порта на вкладке Порты (COM и LPT) USB-SERIALCH340.

В нашем случае порт определен как COM5

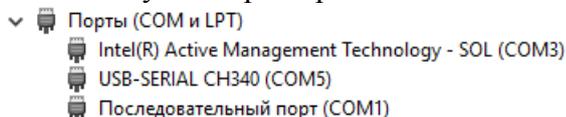


Рисунок 28. Определение порта.

3. Запустите OPC-сервер.

Для этого запустите ПО KEPServerEX6 Configuration

4. Создайте новый проект на сервере. Для этого задайте команду File-New.

На появившейся вопрос нажмите кнопку «Да, обновить (Yes, Update)»

5. Выявите настройки для канала Modbus

Найдите на рабочем столе папку ModbusRTU\_scan\_v2.1 запустите файл ModbusRTUscan.exe

Перед Вашими глазами интерфейс программы, которая сканируя все возможные настройки MODBUS выявит какие из них являются активными в настраиваемой Вами системе

Время сканирования всех возможных настроек порядка двух часов. Для более ускоренного получения результата задайте перед сканированием следующие настройки

Выберем нужный нам порт (см. пункт 1)

Скорость 9600, 19200, 38400

Стоповых битов – 1

Четность – четный, нечетный, нет (Even, Odd, None)

(Данные настройки представлены как основные в документации к счетчику на странице 41, файл документации лежит на рабочем столе с названием IEM3000\_instruction.pdf)

Адреса устройств выберем с 1 по 40 и запустим сканирование

Для ускорения работы можете приступать к выполнению следующего пункта, полученные результаты потом проанализируйте со следующими действиями, выполняемые в лабораторной работе

Результаты сканирования представлены на рисунке.

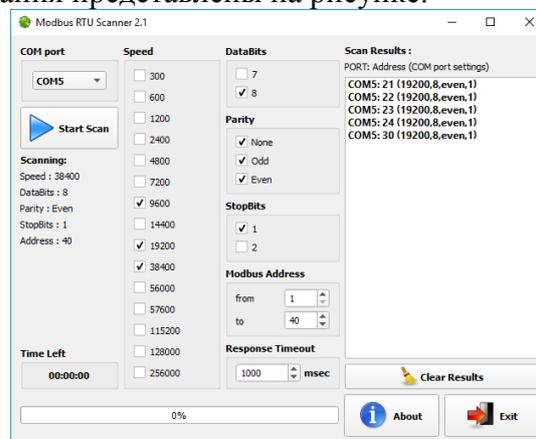


Рисунок 29. Результаты сканирования устройств MODBUS

Посмотрите внимательно на схему щита. Объясните полученные результаты сканирования. Выпишите каждое устройство и характеристики по Modbus необходимые для его подключения.

Тип устройства	Скорость	Количество стоповых бит	Четность	Адрес
----------------	----------	-------------------------	----------	-------

Данную информацию из таблицы Вы будете использовать в дальнейшем при подключении

#### 6. Сконфигурируйте новый канал

Для этого внутри дерева проекта с левой стороны необходимо нажать Clicktoaddchannel

В появившемся диалоговом окне на первом шаге (Selectthetypeofchanneltobecreated) выбираем тип канала “MODBUSRTUSerial”.

На третьей вкладке укажите номер COM порта COMID = 5

Скорость соединения (BaudRate = 19200)

Число бит (DataBits) = 8

Четность (Parity) – Even

Стоповый бит – 1

Остальные настройки оставляем без изменений. В конце программа выдаст сводную таблицу с настройками. Проверьте еще раз, что все настройки выполнены правильно.

После завершения работы мастера, сформированный Вами канал появится в дереве проекта слева. В примере Channel 1

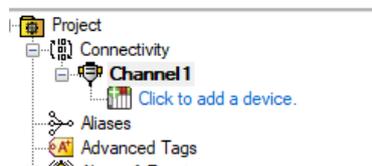


Рисунок 30. Окно настройки канала

#### 7. Сконфигурируем новое устройство.

Для этого в дереве проекта с левой стороны необходимо нажать «Clicktoadddevice»

В первом диалоговом окне задаем имя устройству, например, «счетчик 1»

Во втором диалоговом окне выбираем модель взаимодействия Modbus

В третьем окне задаем адрес устройства. Для начала выберем формат, в котором будет представлен номер устройства (Decimal), после чего задаем непосредственно сам номер (адрес) устройства (для счетчиков с 21 по 24)

Остальные настройки оставляем по умолчанию.

Так же как и в предыдущем случае в последнем диалоговом окне выйдет таблица с совокупностью всех настроек. Еще раз проверьте все введенные Вами настройки и нажмите готово в случае соответствия.



Рисунок 31. Окно настройки устройства

#### 8. Сконфигурируем новые переменные

Для этого в поле справа нажмем Clicktoadd a statictag. В появившемся окне необходимо задать имя, адрес и тип данных. Адрес, тип информации и тип данных, которые можно получить со счетчика указаны в документации.

В примере получим значение среднего тока. Для этого найдем этот параметр в таблице. Адрес ячейки для сохранения среднего тока – 3010, тип данных – float. Для корректной настройки необходимо также учесть, что на оборудовании первой ячейкой памяти является 1ая ячейка. А на стороне сервера первой ячейкой памяти является нулевая ячейка. Следовательно, если я захочу увидеть значение с ячейки 3010 устройства на стороне сервера мне необходимо задать 3009 ячейку. Еще одна особенность протокола MODBUS это нумерация ячеек и определенная функция, зависящая от этой нумерации и выполняемая сервером. Регистры хранения (holdingregister) На стороне сервера

нумеруются с 400000. Поэтому для считывания информации с 3010 ячейки мы фактически указываем следующий адрес 403009. Введем эти настройки в OPC – сервер.

<b>Identification</b>	
Name	I_avg
Description	Средний ток
<b>Data Properties</b>	
Address	403009
Data Type	Float
Client Access	Read/Write
Scan Rate (ms)	100

Рисунок 32. Настройки OPC сервера для параметра средний ток

#### 9. Проверка результата

Для диагностики работоспособности сервера выполним подключение к нему. Для этого будем использовать встроенный клиент OPCQuickClient. Для его запуска необходимо зайти в пункт меню Инструменты (Tools) и запустить командой LaunchOPCQuickClient.

При запуске клиента с левой стороны в дереве проекта зайдём на вкладку Channel1.Счетчик 1 (согласно введенным нами ранее настройкам, и посмотрим фактическое значение и качество соединения с сервером. На контрольном окне в случае успешного выполнения задания Вы увидите качество сигнала – Good и фактические значения переменных в графе Value. В случае обнаружения искаженных результатов проанализируйте еще раз ход выполнения работы, найдите ошибку. Если ошибку самостоятельно найти не удалось, позвоните на помощь преподавателя.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Channel1.Счетчик 1.I_avg	Float	0.115723	18:48:08.451	Good	20

Рисунок 33. Внешний вид состояние переменной на стороне клиента

#### 10. Подключение остальных переменных к проекту.

Подключите самостоятельно 4-5 переменных из таблицы. Кроме того, подключите переменные еще с одного устройства. Добавьте эти переменные к существующему проекту.

#### 11. Вывод значений основных переменных в SCADA – систему

Запустите программное обеспечение GraphWorX32 (Пуск- GraphWorX32). Перед Вашими глазами откроется окно конфигурирования мнемосхемы SCADA –системы. Выведем значение среднего тока на экран. Для этого нажмите на значок  внизу и перетащите на экран. На экране появятся знаки вопросов. Кликните правой кнопкой мыши на знаки вопросов. Выпадет окно с настройками для точки. Перейдите на вкладку PPT/DE. Нажмите на кнопку DataTags. Перейдите на закладке сверху на пункт OPCDA. Выберете Kepware.KEPServerEX.V5. Далее папку с именем Вашего канала, далее папку с именем Вашего устройства. Кликните на папку с именем Вашего устройства. Справа появится список всех переменных. Выберете нужную переменную I\_avg и нажмите ОК. Поменяйте формат представления числа в графе Format. В графе PointType должна стоять галочка на обновление (update) и запрет на ввод данных (без галочки dataentry). Нажмите ОК.

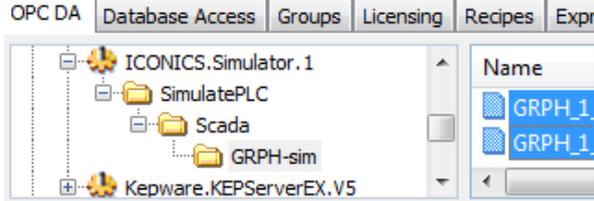
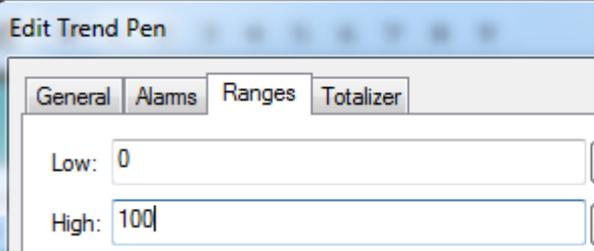
Запустите проект на исполнение командой Runtime вверху в строчке меню.

Убедитесь, что значение меняется одинаково на стороне OPC сервера и на стороне SCADA-системы.

Добавьте на экранную форму два элемента просмотра графиков TrendWorX32

ViewerActiveX, для этого нажмите на иконку  в инструментальной панели.

Двойным щелчком по графику зайдите в его настройки и установите следующие значения параметров:

<b>Вкладка General</b>	
View Title	RT Plot
Plot Type	Time Plot
<b>Вкладка Appearance</b>	- Workspace
Show Title	ОТМЕТИТЬ ГАЛОЧКОЙ
<b>Вкладка Pens</b>	
OPC Tags	
Edit* *для каждого графика задать диапазон шкалы от 0 до 100	

Запустите программу на исполнение, если все действия выполнены верно, то на экране отобразится следующее:

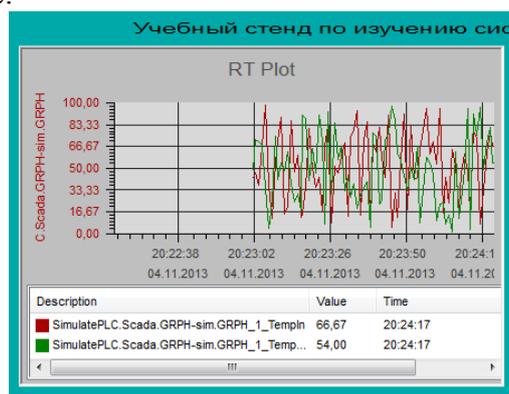


Рисунок 34. График в SCADA

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Укажите основные особенности применения протокола MODBUS.
2. Опишите схему подключения, используемую в лабораторной работе.
3. Укажите основные правила, используемые при конфигурации устройств на уровне OPC-сервера
4. Укажите основные правила, используемые при конфигурации устройств на уровне SCADA системы
5. Укажите особенности и основные характеристики счетчика электрической энергии, используемой в работе.

## **Использование обработки цифровых сигналов для анализа качества электроэнергии в распределительных сетях**

**Цель работы.** Научиться применять теорию нейронной сети для решения задачи кластеризации на 2 зоны для последующего определения параметров качества электроэнергии.

### Основные теоретические сведения.

Решение задачи кластеризации для интеллектуальных систем сетей электроснабжения может быть применен для определения режима работы оборудования выявления дефектов в работе оборудования, а также при решении схожих задач. Кластеризацией называется объединение объектов в группы на основе близости их свойств. Объекты существенно отличающиеся от друг друга соотносят к разным кластерам, объекты со схожими свойствами в одинаковые кластеры. Термин кластерный анализ был введен Трионом (Troyon) в 1939 году. Для проведения кластерного анализа используются множество алгоритмов. Кластерный анализ позволяет анализировать показатели данных различных типов, не требует строго формализованных требований к набору данных и их представлению в отличии от задач классификации. Однако важно чтобы анализируемые переменные измерялись в сравнимых шкалах.

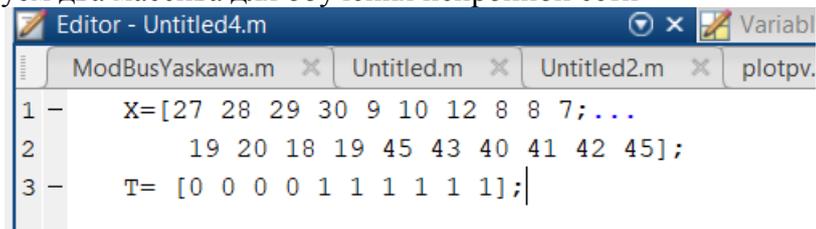
Кластерный анализ позволяет сокращать размерность данных, делать ее наглядной. Кластерный анализ может применяться к совокупностям временных рядов, здесь могут выделяться периоды схожести некоторых показателей и определяться группы временных рядов со схожей динамикой.

Задачи кластерного анализа можно объединить в следующие группы:

1. Разработка типологии или классификации.
2. Исследование полезных концептуальных схем группирования объектов.
3. Представление гипотез на основе исследования данных.
4. Проверка гипотез или исследований для определения, действительно ли типы (группы), выделенные тем или иным способом, присутствуют в имеющихся данных.

### Порядок выполнения работы.

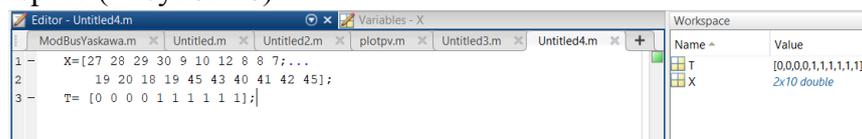
1. Сформируем два массива для обучения нейронной сети



```
Editor - Untitled4.m
ModBusYaskawa.m x Untitled.m x Untitled2.m x plotpv.
1 - X=[27 28 29 30 9 10 12 8 8 7;...
2   19 20 18 19 45 43 40 41 42 45];
3 - T= [0 0 0 0 1 1 1 1 1 1];
```

Рисунок 35. Задание массива значений

2. Запустим скрипт на исполнение и посмотрим массивы, сформированные в рабочей зоне Workspace (Рисунок 48)



```
Editor - Untitled4.m
ModBusYaskawa.m x Untitled.m x Untitled2.m x plotpv.m x Untitled3.m x Untitled4.m x
1 - X=[27 28 29 30 9 10 12 8 8 7;...
2   19 20 18 19 45 43 40 41 42 45];
3 - T= [0 0 0 0 1 1 1 1 1 1];

Workspace
Name ^ Value
T [0,0,0,1,1,1,1,1,1]
X 2x10 double
```

Рисунок 36. Рабочая зона Workspace

Тут входом X заданы 10 наборов координат точек, подлежащих кластеризации, T – выход – заданные кластеры для данных точек

3. Отобразим данные точки на графике

`plotpv(X,T);`

Функция `plotpv` специальная функция рисующая график для отображения входов и целевых выходов персептрона

4. Запустим скрипт на исполнение

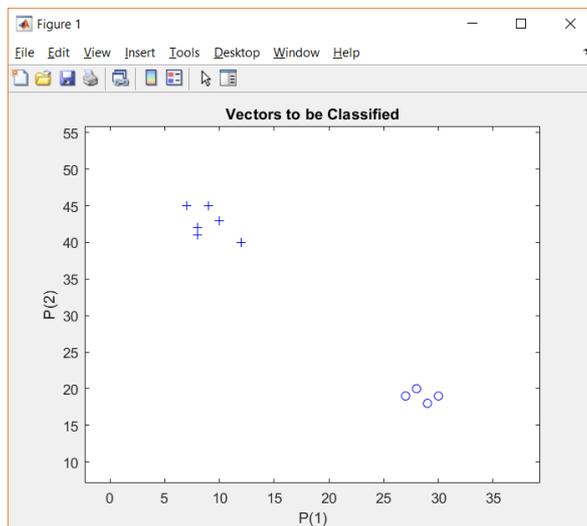


Рисунок 37. Исходные данные

5. Создадим перцептрон с пустыми конфигурационными настройками

```
net = perceptron;
net = configure(net,X,T);
```

6. Запустим скрипт. В рабочей зоне Workspace появится новый объект типа net. Это наша нейронная сеть.

7. Вновь отобразим график  
plotpv(X,T);

8. Нарисуем на нем линию, разделяющую 2 кластера, и проходящую через вес и биас перцептрона

9. Для проведения анализа дополнительно выведем значения веса и биаса перцептрона в рабочую зону Workspace

```
plotpc(net.IW{1},net.b{1});
sw0=net.IW{1};
sb0=net.b{1};
```

10. Запустим скрипт на исполнение

Plotpc – специальная функция, обряжающую линию разделяющую 2 кластера

После запуска скрипта увидим, что линия не отобразилась. В рабочей зоне посмотрим параметры весов и биасов. Увидим значения 0. Значит перцептрон не настроен.

11. Зададим команду для настройки перцептрона и адаптацию его параметров под решение конкретной задачи

Для этого последовательно в массив поместим значения векторов ( repmat – повтор каждого значения в массиве) и запустим функцию адаптации ADAPT

```
XX = repmat(con2seq(X),1,3);
TT = repmat(con2seq(T),1,3);
net = adapt(net,XX,TT);
```

ADAPT обновляет сеть для каждого временного шага в серии и возвращает новый объект, который работает как лучший классификатор.

12. Выведем значение весов и биасов и убедимся что они не нули

```
sw1=net.IW{1};
sb1=net.b{1};
```

Теперь можем рисовать линию, разделяющую наши значения на 2 класса (Рисунок 50).

```
plotpc(net.IW{1},net.b{1});
```

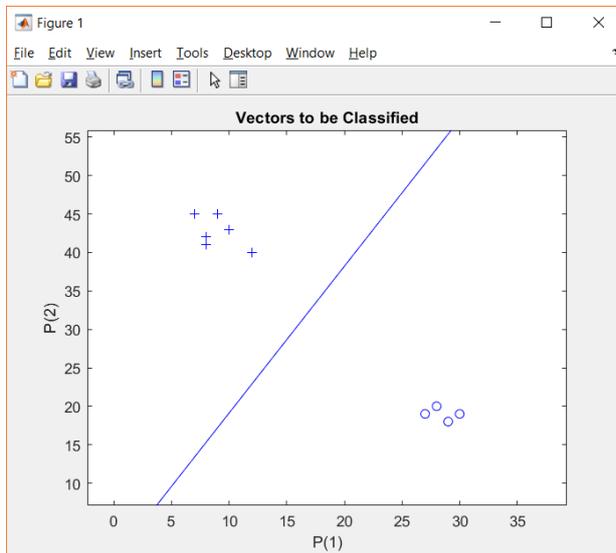


Рисунок 38. Линия, разделяющая значения на 2 класса

13. Протестируем работу перцептрона для других значений  
 Зададим новый вектор значений для  $x$

$x = [20; 15];$

Получаем для данных значений ответ сети

$y = \text{net}(x);$

14. Выводим значения на график, при этом тестовую точку рисуем красным цветом для наглядности. Проверяем результат работы сети.

```
plotpv(x,y);
point = findobj(gca,'type','line');
point.Color = 'red';
hold on;
```

```
plotpv(X,T);
plotpc(net.IW{1},net.b{1});
```

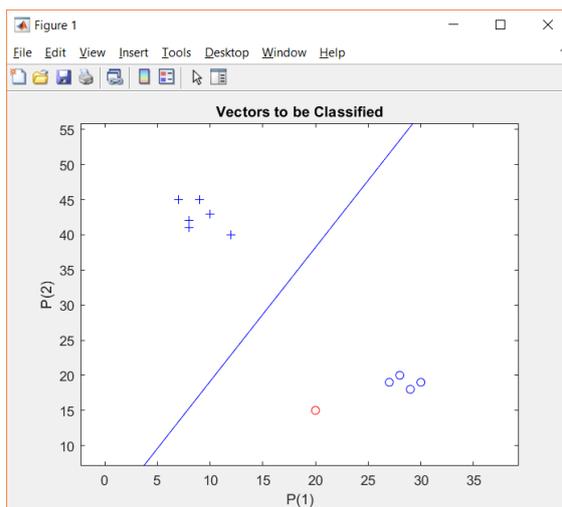


Рисунок 39. Тестирование работоспособности сети

### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Укажите особенности кластерного анализа
2. Что такое перцептрон
3. Укажите основные этапы классификаций массива данных на два признака
4. Укажите основные функции Matlab, используемые для решения задач кластеризации по двум признакам

## Учебно-методические материалы Модуль 2. «Энергосберегающие технологии»

### Лекция «Энергетическая эффективность. Анализ объемов производства и потребления первичных энергоемких ресурсов»

Переходя к прогнозу технологического развития топливно-энергетического комплекса в контексте мировых трендов по направлению, необходимо выделить и дать характеристику ключевым мировым регионам, деятельность которых зависит друг от друга и оказывает влияние на развитие энергетики России.

Для того чтобы выделить ключевые параметры, характеризующие проблематику и актуальность преобразования энергетических систем в «EnergySoS», рассмотрим 5 ключевых регионов – США, ЕС, Азиатский регион, Африканский континент и непосредственно Россия.

#### Анализ региона «США»

Территориальные и демографические аспекты. Соединенные Штаты Америки занимают 4-е место в мире по площади: 9,5 млн. км, в стране преобладает умеренный климат. Численность населения – 325 млн человек (3-е место в мире). Плотность населения – 34 чел./км<sup>2</sup>. Уровень безработицы - 4,1%.

Топливо-энергетический комплекс. На 2016 год инвестиции в энергетику составили \$276 млрд (WorldEnergyInvestment). Около \$2,80 трлн в год потенциально доступны из пенсионных фондов и страховых компаний для новых инвестиций в чистую энергию. Общая установленная мощность традиционной генерации, включая гидроэнергетику, составляет более 980 ГВт. Доля малой распределенной энергетики в стране около 10%.

Экологический аспект. Что касается экологической безопасности, после снижения выбросов углекислого газа на 0,6% в 2017 году, EIA прогнозирует, что выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с энергетикой, вырастут на 1,0% в 2018 году и еще на 0,8% в 2019 году. В связи с этим, в 2018 году, совместно с проектом The 2018 US BudgetBill, был введен налоговой кредит “45Q” (для контроля количества выбросов CO<sub>2</sub>), который может привести к капиталовложениям в размере порядка \$1 млрд. в течение 6 лет.

Угледородные ресурсы. Производство электроэнергии в США в 2017 году снизилось на 1,5%. Несмотря на сокращение производства э/э на угольном топливе, база данных ресурсов США является одной из самых больших в мире. Добыча угля составляет 569 млн т в год, по произведенным расчетам определено, что угля будет достаточно на ближайшие 400 лет, извлекаемые запасы составляют 237 млрд т. EIA прогнозирует, что добычи угля сократится почти на 5% в 2018 году, а затем увеличится на 1% в 2019 году. Запасы натурального газа США составляют 9,6 трлн куб. м, которые рассчитаны на 70 лет при добыче 137 млрд куб. м в год. Добыча традиционной сырой нефти в США, включая конденсат, составила в 2017 году 567 млн т, запасы оцениваются примерно на 11 лет (10-е место в мире). По состоянию на 2017 год, США импортировали примерно 39% общего объема потребления нефти и 61% добывали самостоятельно. Стоимость ресурса (сырая нефть) на 16.03.2018 г. составляет \$64/баррель. Также, США являются крупнейшим в мире производителем ядерной энергии (более 30% мировой ядерной энергетики). Запасы урана составляют 138 тыс. т, при добыче в год 1,88 тыс. т запасов хватит практически на 74 года.

Возобновляемые источники энергии. Доля ВИЭ на 2017 год в общей генерации составила 19,5%. Ветер составил практически 8% от общей чистой генерации, а солнечная энергетика примерно 1,3% - рекордные доли для обоих видов топлива. Ожидается, что в 2019 году ветер станет преобладающим источником возобновляемой электроэнергии, поскольку в 2017 году было добавлено еще 6,3 ГВт ветровых турбин. Количество рабочих мест в солнечной и ветровой энергетике увеличивается на 20% ежегодно, а также, ВИЭ создают рабочие места в 12 раз быстрее остальных отраслей экономики.

Прогноз ТЭК в долгосрочной перспективе. ЕИА прогнозирует до 2030 года по стране рост генерации электроэнергии из возобновляемых источников в среднем на 3,9% в год. В целом, к 2030 году доля ВИЭ увеличится до 25% от общей генерации. Но природный газ является ведущим топливом в электроэнергетики и к 2050 г. его доля может составлять 35% от общего производства. Производство электроэнергии из угля и ядерного топлива будет снижаться, уступая долю природному газу и ВИЭ. К 2020 году ВИЭ будут превосходить ядерные источники, а к 2030 г. источники на угольном топливе.

Долгосрочный прогноз роста экономики. ВВП США будет неуклонно расти в течение следующего десятилетия на 3,3% в год, с \$19,2 трлн. в 2017 году до \$27,99 трлн. в 2027 году. Отражая медленный переход к возобновляемым источникам энергии, ожидается, что только 10% мирового потребления энергии будет в ВИЭ, т.к. Китай потребляет в два раза больше ВИЭ, чем США. Экономический рост остается скромным: примерно 2,0% к 2018 году, а затем 1,9% в год. Производство э/э на базе ядерной энергии снижается, поскольку около половины существующих ядерных электростанций будет выведено из эксплуатации к 2050 году.

#### Анализ региона «Азия»

Территориальные и демографические аспекты. Китай занимает 3 место в мире по площади — 9,597 млн км<sup>2</sup>. Численность населения -1,379 млрд человек (1 место в мире). Плотность населения – 138 чел./км<sup>2</sup>. Удельный вес получивших высшее и среднее образование в общей численности населения – 39%. Доля городского населения – 57,9%. Коэффициент занятости населения (лица в возрасте 15+ лет) – 67,1%. Уровень безработицы 4%. К 2050 году населения старше 60 лет составит порядка 40%, прирост населения на 2017 год 0,5%.

Развитие энергетики Китая. Китай является самым крупным потребителем энергоресурсов в мире – 2970 млн. т.н.э. в 2014 (по оценкам ВР), это на 30% выше, чем в США, что связано с большой долей промышленности в структуре ВВП (42,6% в 2014) и высокой энергоемкостью производства. В следующие 15 лет в Китае прогнозируется снижение среднегодовых темпов роста потребления энергоресурсов с 8% в 2000-2014 до 3% в 2015-2030 гг., что вызвано замедлением роста экономики, развитием сферы услуг и курсом на повышение энергоэффективности.

Достаточность углеводородных ресурсов: нефтью примерно на 50%, газом на 67% от потребления. Китай вышел на 4 место по добычи нефти, на 6 по добычи газа, но остается очень сильно зависимым от поставок. По запасам угля Китай занимает одно из лидирующих мест в мире. Разведка запасов угля в Китае оцениваются в 1 триллион тонн. Обнаруженные запасы нефти и природного газа оцениваются в 19,85 миллиардов тонн и 1,95 триллион кубометров соответственно. По этим показателям Китай занимает 9 и 20 место в мире.

Возобновляемая энергетика. Толчком к стремительному развитию альтернативной электроэнергетики руководство Китая подтолкнуло землетрясение в Японии, и последовавшему за ними ядерному кризису на севере и на востоке страны и дискуссиям о небезопасности «мирного атома». Национальная энергетическая администрация Китая объявила о планах вложить до 2020 года более \$100 млрд в развитие ветряной энергетике, сократить потребление "ископаемых" источников до 40%. "Ветряная" доля в системе национального потребления к 2020 году должна вырасти с нынешних 3,3% до более чем 6%.

Если же говорить о возобновляемых источниках энергии в целом, то их долю Пекин планирует увеличить с достигнутых в 2015-м 9% до 15% в 2020-м и до 20% — в 2030-м, при этом доля потребления угля снижается с 60% до 58%.

Экологический аспект. Экологическая ситуация в Китае в настоящее время настолько тяжелая, что является угрозой не только здоровью населения и сохранению природного баланса, но и затрагивает вопросы внутривосточной стабильности и международных отношений. В стране катастрофически ухудшается состояние почв, рек, озер, морей, сокращаются площади лесов и зеленых насаждений, падает качество и сокращаются запасы питьевой воды. По качеству воды и воздуха Китай достиг

наихудших показателей среди других стран во всем мире, а также стал одним из первых мест среди крупнейших источников выбросов парниковых газов во всем мире.

Рост экономики. Государство будет поддерживать иностранные компании при создании ими новых рабочих мест, обеспечении весомого вклада в экономическое развитие региона, инвестировании в НИОКР, а также при инвестициях в центральные, западные и северо-восточные районы Китая.

Анализ региона «Европейский союз»

Территориальные и демографические аспекты. Европейский союз занимает по площади 4 324 782 км<sup>2</sup> (7-е место). В Европейский союз входят 28 государств. Преобладает умеренный климат. Численность населения – 511 522 671 человек. Плотность населения - 115,8 чел./км<sup>2</sup>. Уровень урбанизации 70-90%. Уровень безработицы - 7,3%. В ЕС низкая рождаемость и низкий уровень естественного прироста. Согласно предсказанию аналитиков, к 2050 году 50 % населения Европейского Союза будет старше 50 лет. По данным Организации экономического сотрудничества и развития уровень жизни в странах ЕС без широкомасштабной организации снизится на 18 %.

Топливо-энергетический комплекс. Пакет мер по энергетике и изменению климата до 2020 года направлен на снижение выработки парниковых газов на 40% по сравнению с уровнем 1990 года, на достижение доли энергии, полученной из возобновляемых источников до 27%, а также на увеличение энергоэффективности до 27% к 2030 году. ЕС принял руководство для стран по разработке и реформированию схем поддержки использования ВИЭ и инвестиций в данную отрасль.

Угледородные ресурсы. На мировом рынке потребления Европа на 2-м месте. Импорт нефти на 2015 год составил 66% импорта энергии в ЕС, за ней следует газ (23%) и твердое топливо (10%) . В 2015 году почти две трети импорта сырой нефти поступали из России (29%), Норвегии (12%), Нигерии (8%), Саудовской Аравии (8%) и Ирака (8%).

Возобновляемые источники энергии. Общая установленная мощность объектов возобновляемой энергетики в Евросоюзе составила 421 ГВт в 2016 году. Страны ЕС планируют получать порядка 70% электроэнергии из возобновляемых источников к 2040 году, по сравнению с 32% в 2015 году.

Долгосрочный прогноз роста экономики. Более сильные демографические ограничения, обусловленные тенденцией старения населения Евросоюза, будут сдерживать рост европейской экономики: среднегодовые темпы роста за период 2013-2030 гг. не превысят 1,5%. Среднегодовой темп роста экономически активного населения существенно сократится: с 0,8% в среднем за период 1991-2010 гг. до 0,1% за период 2013-2030 гг.

Анализ региона «Африка»

Территориальные и демографические аспекты. Территория: 30 221 532 км<sup>2</sup> ~ 30,3 млн км<sup>2</sup>. Население 1,28 млрд чел. (2017); самая крупная по численности населения страна - Нигерия (183,5 млн.), затем следуют Эфиопия (98,9 млн.), Египет (84,7 млн.) . На территории Африки насчитывается 54 (55) государства. Континент располагается в 4-х климатических поясах: экваториальном, субэкваториальном, тропическом и субтропическом; наблюдается высокая солнечная активность на всей территории.

Население молодое (50%), ожидается рост доли работоспособного населения с 56% (2013 г.) до 61% (2040 г.); высокая смертность. Прогнозируется увеличение населения до 2,5 млрд. чел. к 2050 г. (с текущих 16% до 22% в доле мирового населения) , что может стать серьезным вызовом всему человечеству: на сегодняшний день демографический взрыв Африки является одной из пяти серьезных социально-экономических проблем мира – торможение развития и отсутствие доступной электроэнергии в этом регионе при быстром росте населения может привести к росту смертности, а также разбалансировать рост макроэкономического развития, повысить риски и затормозить капиталовложения, при этом повышается риск миграции в Европу. В последнее десятилетие правительства стран Африки активно поддерживают любые инициативы по развитию ТЭК, поскольку около 60% (свыше 500 млн.) населения не

имеют доступа к электроэнергии. В числе мер – предоставление налоговых льгот инвесторам, расширение государственного льготного кредитования.

Топливо-энергетический комплекс. Объем производства будет устойчиво расти до 2060 г.; ожидается развитие промышленности, инфраструктуры, прирост уровня урбанизации на 10% (до 50%) к 2040 г.; экономический рост в Африке предвидится в пределах 2,5–4 % в год по различным сценариям. Также ожидается снижение уровней бедности (с 44% до 33%); сегодня 26% населения безработные. Большая часть населения не имеет доступа к образованию, по состоянию на 2012 год доля Южной Африки в мировых научных исследованиях - 0,5%.

Высокий уровень запасов углеводородного сырья (Либерия, Нигерия), при этом общая разведка запасов нефти продолжает расти. Основными точками экспорта являются Китай, Европа, США, Индия, СПГ – Япония, Европа, Бразилия.

Экологический аспект. Неблагоприятная экологическая обстановка: на севере материка – опустынивание; в центре – вырубка лесов; на юге – климатическое бедствие – засуха, что влечет обеднение фауны и миграционные потоки населения в северную часть материка. Кроме того, недостаток пресной воды и высокий уровень выбросов CO<sub>2</sub>, хотя в мировом масштабе они не достигают 2%. Проблема высокотоксичных отходов и, как следствие, отравления почвы (Агбоглоши, Гана).

Политическая обстановка: усиление влияния США, Китая, ОАЭ и др. государств посредством финансирования энергетических проектов в Африке (сценарий «EnergyforAll», программы Всемирного банка, GlobalGeothermalDevelopmentPlan от 2013г. и др.). Имеется неоднозначное присутствие военных баз Франции, Испании, США, Саудовской Аравии, Китая.

Компании-лидеры отрасли: Компания Eskom контролирует до 95% рынка электроэнергии в Южной части и порядка 45% в целом. Потребление электроэнергии на материке за 2016 год достигло 638 ТВт\*ч. Общая установленная мощность электростанций в Африке составляет 164,4 ГВт на 2014 год. В 2015 г. общая установленная мощность электростанций в SAPP (Энергетический пул стран Южной Африки) - 54,7 ГВт, из которых 80% в ЮАР. Основная доля выработки приходится на ТЭС, при этом ожидается заметное падение добычи угля к 2030 г.

Возобновляемая энергетика. Общая установленная мощность объектов возобновляемой энергетики в Африке составляет 38 ГВт в 2017 г. На январь 2018 г. ВЭС и СЭС составляли 4,1 ГВт, что приблизительно 1,2% от общей генерации; с ГЭС – 7%. Рост ВИЭ запланирован до 300 ГВт к 2030 году, в плане к 2025 году повышение до 30% от общей выработки электроэнергии. По прогнозам 2015-го года, к 2030 году установленная мощность фотоэлектрической солнечной энергетики в Африке может превысить 70 ГВт.

Доля распределенной энергетики составляет приблизительно 5%, благодаря различным программам планируется повышение до 37% к 2030 г. В 2017 году Росатом заявил о намерении поставить в Южную Африку мини-ГЭС мощностью до 2 МВт. В 2015 г. в качестве основного направления развития отрасли выбран уголь. В перспективе энергетика будет смещаться к СЭС и АЭС при значительной доле гидроэнергетики и биоЭС.

#### Анализ региона «Российская Федерация»

Территориальные и демографические аспекты. РФ занимает 1-е место в мире по площади – 17,125 млн км<sup>2</sup>. Большая часть территории России лежит в умеренном континентальном климатическом поясе. Вечная мерзлота (районы севера европейской части, Сибири и Дальнего Востока) занимает 65 % территории России. Численность населения – 146 ,880 млн чел. (9 место). Плотность населения России — 8,57 чел. На январь 2018 г. уровень безработицы составил – 5,5 %.

Тенденции использования различных ТЭР: Газовая генерация является основной производственной структуры электроэнергетики. В течение последнего десятилетия продолжился рост доли газа в топливном балансе электростанций ЕЭС России – с 63% до 72%.

Энергосистема РФ. Более 90% производственного потенциала энергетики России объединено в Единую энергетическую систему России (ЕЭС России), которая охватывает всю обжитую территорию страны и является одним из крупнейших в мире централизованно управляемых энергообъединений. В составе ЕЭС России работают семь Объединенных энергосистем (ОЭС). В электроэнергетический комплекс ЕЭС России входит 748 электростанций мощностью свыше 5 МВт. На 1 января 2018 года общая установленная мощность электростанций ЕЭС России составила 239,812 ГВт. В структуре установленной мощности электростанций ЕЭС России представлены: ТЭС – 68,24%, ГЭС – 20,6%, АЭС – 11,16%, СЭС – 0,22%, ВЭС – 0,06%. Размер технологических и коммерческих потерь в сетях и составляет в среднем 9,22 %.

В 2017 году выработка электроэнергии электростанциями ЕЭС России, включая производство электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий, составила 1 053,862 млрд. кВт\*ч (на 0,5% по сравнению с 2016 годом). Фактическое потребление электроэнергии в Российской Федерации в 2017 г. составило 1 039 ,88 млрд. кВт\*ч. Производство электроэнергии к 2020 году прогнозируется в размере 1126,2 млрд. кВт\*ч, а электропотребление увеличится до 1115 млрд. кВт\*ч.

В России в 2016 г. работало 36 тысяч электростанций мощностью менее 25 МВт, а их суммарная мощность составила 13,0 ГВт. Примерно 8,5 ГВт (т.е. около 2/3 всей мощности распределённой генерации) эксплуатируется в зоне децентрализованного энергоснабжения. Совокупная мощность объектов распределенной генерации в России по состоянию на 2017 г. составляет 23,5 ГВт: 8,5 ГВт станций до 25 МВт, работающих вне ЕЭС, 15 ГВт более мощных станций в ЕЭС. Доля мощности распределенной генерации в энергосистеме страны оценивается в 9-9,5%.

Износ энергетического оборудования электростанций всех типов и систем транспорта, передачи и распределения электрической и тепловой энергии составляет — 56%, а по оборудованию электрических и тепловых сетей — до 80%. Демонтаж генерирующих мощностей за период 2011-2030 гг. составит 82,1 ГВт, что создаст потребность во вводе новых мощностей.

Финансирование. Доля ТЭК в ВВП РФ составляет 22,6%. Доля ТЭК в экспорте составляет 56,9%. Ключевыми направлениями для инвестиционных проектов в сфере энергетики являются АЭС и ГЭС. Для увеличения эффективности использования энергии в промышленности из федерального бюджета в 2018-2020 годах на программу "Энергоэффективность и развитие энергетики" выделено почти 31 млрд. рублей.

Прогноз развития ТЭК. Согласно Целевому топливно-энергетическому балансу России на период до 2035 г. предусматривается уменьшение производства нефти и конденсата на 6-7%, рост производства природного и попутного газа на 5-6% (с эффективным объёмом добычи - около 935 млрд м3 в год), сохранение доли твёрдого топлива на уровне 12-13% (но предусматривается рост добычи угля до 415 млн.т.), увеличение доли нетопливных источников энергии в производстве первичных ТЭР на 2% при росте размеров их использования в 1,5 – 1,6 раза, в том числе атомной энергии – в 2 – 2,2 раза.

Освоение углеводородного потенциала континентального шельфа арктических морей и северных территорий России сыграет стабилизирующую роль в динамике добычи нефти и газа в стране, компенсируя возможный спад уровня добычи в традиционных нефтегазодобывающих районах. При этом доля шельфа арктических морей в добыче нефти может составить до 5%, а газа – до 10% к 2035 г.

По прогнозам Минэнерго России объём генерации за счет ВИЭ в РФ к 2024 г. составит 2,5% в энергобалансе. Ожидается увеличение выработки электроэнергии на базе ВИЭ в 10 – 14 раз. К 2024 г. Правительство РФ планирует увеличить установленную мощность объектов генерации на основе ВИЭ до 5,9 ГВт.

В ЕЭС на период 2025-2035 прогнозируется дефицит генерирующей мощности, однако, распределенной генерацией можно восполнить половину создавшегося дефицита (около 36 ГВт к 2035 г.). При этом максимальный потенциал имеет распределенная когенерации - около 17 ГВт. Собственная генерация обеспечит дополнительно около 13

ГВт, управление спросом – до 4 ГВт, энергоэффективность – 1,5 ГВт и микрогенерация на ВИЭ – 0,6 ГВт.

Рост энергоэффективности экономики и изменения в структуре энергобаланса до 2035 года будут способствовать сдерживанию роста эмиссии парниковых газов (ПГ), связанной с топливом на уровне +2..6% от 2012 года.

Реализация Энергетической стратегии на период до 2035 г. приведёт к снижению износа производственных фондов на 25 % от уровня 2010 г. Поддержание устойчивого резерва электро- и теплогенерирующих мощностей, включающих поддержание резерва мощности электростанций на уровне 17% от общей установленной мощности ЕЭС России, уменьшит зависимость от внешних нестабильных энергетических рынков. С увеличением доли стран Азиатско-Тихоокеанского региона в общем объеме экспорта топливно-энергетических ресурсов России до уровня не менее 31% к 2035 г. откроется новая альтернатива европейскому рынку, который стремится к независимости от российских поставок ТЭР и увеличивает долю возобновляемых источников энергии в собственном энергобалансе. К 2035 г. снижением удельных расходов топлива на выработку электроэнергии на 48% обеспечится экономическая эффективность работы ТЭС, а следовательно, и всей ЕЭС РФ (доля ТЭС в энергобалансе составит 65,5% производства). Тенденция к повышению энергоэффективности и ужесточению экологических требований диктует необходимость обеспечения соответствующего уровня эмиссии ПГ к 2035 г.: не более 120% от уровня 2010 года. Достижение всех указанных параметров в экономике и энергетике страны будет результатом перехода на ресурсно-инновационный путь развития ТЭК.

Произведена оценка влияния ключевых технологий, используемых в настоящее время и которые будут успешно развиваться до 2030 г. на 5 ключевых параметров – гибкость, экологичность, энергоэффективность, надежность, экономичность, характеризующих энергосистемы в целом на 2018 год и на 2030 год, основываясь на статистических данных и данных прогнозов развития регионов.



Рисунок 40. Прогноз изменения свойств «EnergySoS».

#### Выводы

Необходимость создания EnergySoS в США. Несмотря на высокий уровень технической оснащенности и экономическую поддержку, энергетическая политика США требует долгосрочного плана по обеспечению энергетической безопасности. Так, за последние 10 лет на территории страны произошло более 27 особо опасных стихийных бедствий (2 место в мире после Китая), которые нанесли урон экономике и топливно-энергетическому комплексу страны. Приходящая в негодность энергосистема Америки представляет всё большую опасность для населения. Конечно, отключения э/э происходят достаточно часто и, как правило, они вполне управляемы и решаются в течение нескольких минут или менее чем за час. Однако есть и другие случаи, когда это невозможно. Все это приводит к необходимости создания интеллектуальной энергосистемы и внедрения концепции EnergySoS, которая увеличит стабильность и

качество подачи электроэнергии, при этом существенный сдвиг при преобразованиях должен быть сделан в сторону экологичности.

Прогноз спроса: главные – цифровые, информационные, аккумуляция; умеренные – ВИЭ, транспорт; материаловедение; не приоритетные – не ВИЭ; энергосбережение.

Необходимость создания EnergySoS в Китае. В своем быстром развитии Китай, как страна, должна решить ряд проблем, вставших на её пути. Так, с высокими темпами роста развития ВИЭ, для достижения полного потребления чистой энергии, необходимо создать широкий доступ и эффективное взаимодействие различных распределенных источников энергии для оптимального распределения энергетических ресурсов и регуляции энергетической структуры. С одной стороны, необходимо удовлетворять пользователей требуемой мощностью, реализовывать энергосбережение и пиковое заполнение, адаптироваться к спросу разнообразной нагрузки (распределенная электроэнергетика, электромобили); с другой стороны, необходимо повышать гибкость, точность управления, стабильность электропитания, эффективность защиты от всех видов серьезных сбоев сетей передачи и распределения. Для решения вышеперечисленных задач Китай решил реализовать программу интеллектуальных сетей к 2020 году, которые являются безопасными, надежными, высокоэффективными и экологически чистыми.

Прогноз спроса: главные – цифровые, информационные, аккумуляция; умеренные – ВИЭ; транспорт; энергосбережение; не приоритетные – не ВИЭ; материаловедение.

Необходимость создания EnergySoS в Европейском союзе. Создание системы EnergySoS обусловлено формированием концепции развития электроэнергетики в Европейском Союзе, ввиду территориальной рассредоточенности возобновляемых источников энергии, нехватке собственных нефтегазовых месторождений полезных ископаемых, а также экологической обстановке в регионе. Развитие инфраструктуры зарядных станций и совершенствование электромобилей будет способствовать высокому темпу роста данного сегмента рынка. Увеличение числа Data-центров в регионе, ввиду колоссального объема информации передаваемой потребителям, требует значительное количество дополнительных ресурсов, которые можно оптимизировать с помощью системы EnergySoS. Совершенствование системы направлено на массовое внедрение кибертехнологий в энергетику и в производство в целом – четвертая промышленная революция (Industry 4.0).

Прогноз спроса: главные – ВИЭ, цифровые, информационные; умеренные – аккумуляция, энергосбережение; не приоритетные – не ВИЭ, материаловедение, транспорт.

Необходимость создания EnergySoS в Африке. В соответствии с оценкой TheWorldEnergyCouncil'sEnergyTrilemmaIndextool, о способности стран самостоятельно обеспечивать устойчивое энергоснабжение, можно сделать следующие выводы: физическая и экономическая доступность (energyequity) заметно выше в северной части материка; экологическая устойчивость (environmentalsustainability) относительно выше в Северной и Центральной Африке; надежность системы (energysecurity) в среднем одинаково неудовлетворительна, однако обстановку Южного и Северного регионов можно выделить как более благоприятную. Большинство проблем энергетических систем стран Африки решаются с помощью внедрения комплекса интеллектуальных систем, позволяющего грамотно управлять использованием и генерацией энергии от различных источников, а также контролировать установки Microgrid, необходимые для большинства населения континента как единственный источник энергии.

Прогноз спроса: главные – ВИЭ, материаловедение, не ВИЭ, цифровые, информационные; умеренные – аккумуляция; не приоритетные – транспорт, энергосбережение.

Необходимость создания EnergySoS в России. Главный внутренний вызов состоит в необходимости глубокой и всесторонней модернизации ТЭК России, преодолении высокого износа значительной части инфраструктуры и производственных фондов, повышении производства энергоносителей с высокой добавленной стоимостью (светлые нефтепродукты, газомоторное топливо, продукция нефте- и газохимии). Главной

проблемой является значительный нереализованный потенциал организационного и технологического энергосбережения, превышающий 1/3 общего потребления ТЭР в стране.

Прогноз спроса: главные – цифровые, информационные, энергосбережение; умеренные – ВИЭ, материаловедение, аккумуляция; не приоритетные – не ВИЭ, транспорт.

Проведенный анализ показал, что несмотря на различие проблемных мест в энергетических системах рассмотренных регионов, переход к EnergySoS невозможен без масштабной цифровизации и информатизации. Именно эти технологии будут являться основой решения главной проблемы, характерной для всех энергосистем – приобретение большей гибкости при интеграции различных энергетических ресурсов. Стоит отметить, что характерные проблемы Европы и Африки, связанные с энергетической безопасностью, будут определять спрос на ВИЭ и аккумуляцию энергии, однако чрезмерное наращивание данных направлений, согласно моделированию, приводит к угрозе экономичности, что скажется на конечном потребителе и конкурентоспособности продукции. Наиболее существенным для РФ остаются вопросы энергосбережения и эффективности, специфическая отношение потребителей к расходованию ресурсов, очевидно, должно быть сломлено не повышением тарифов, а образовательными сдвигами. Воспитание «культуры энергосбережения» должно идти в ногу со временем и быть основанной на «сервисах энергетической информатизации», что само собой невозможно без цифровизации систем электро-, тепло- и газоснабжения. На следующем этапе должна решаться задачи интеграции системы с децентрализованными объектами, это значительно увеличит адаптивность и энергобезопасность.

Очевидным становится вопрос объединения региональных EnergySoS в континентальные и более масштабные системы, для взаимной компенсации недостатков и приобретения синергетических плюсовых эффектов в проблемных свойствах, однако, в рамки первого этапа данное исследование уместиться не может.

#### *Слайды к лекции.*



Those who will learn how to transform massive information flows into usable solution, will win. All others will lose - Dmitry Medvedev



Big data and  
Predictive analytics



Artificial intelligence and  
virtual simulation



Dispersed registry  
systems a.k.a.  
"Blockchain"



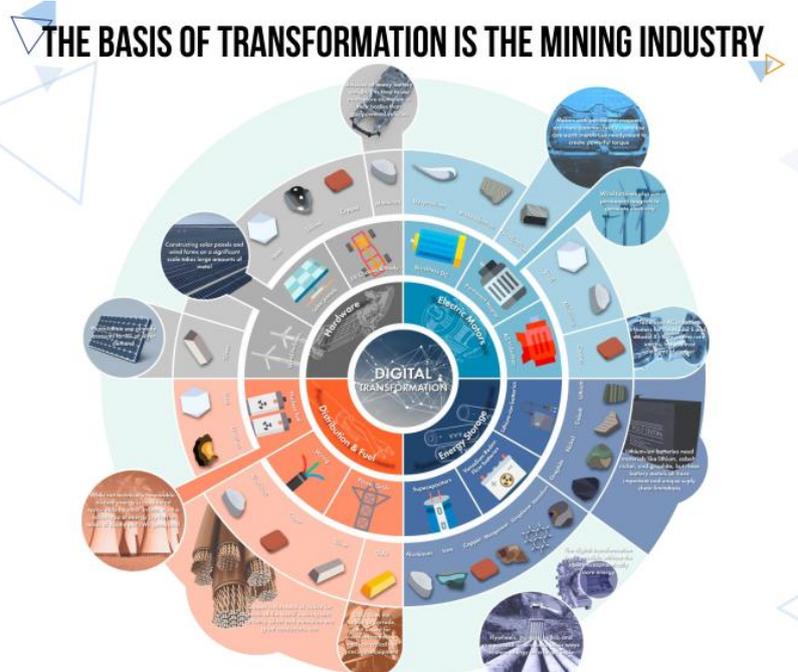
New industrial technologies,  
robotics and sensors  
(So called "Industry 4.0")



Virtual and augmented  
realities

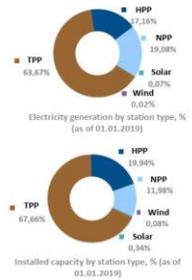


Industrial internet  
(internet of Things, IoT)

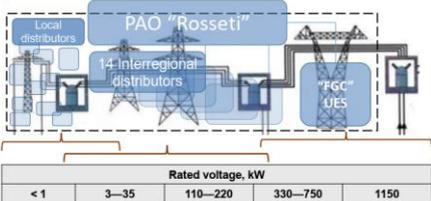


## Structure of the unified power system (UPS) of Russia

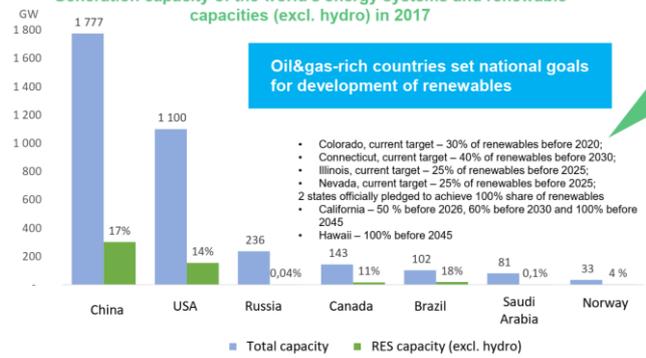
The Russian UPS consists of 805 power stations, each with an installed capacity greater than 5 MW, and a total installed capacity of **243 243,2 MW**. The annual volume of electricity generated is approximately one trillion kWh.



The transmission system of the Russian UPS consists of more than 10 700 power lines with a voltage rating between 110 – 1150 kW.



## Generation capacity of the world's energy systems and renewable capacities (excl. hydro) in 2017

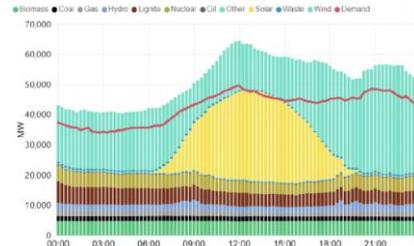


**Oil&gas-rich countries set national goals for development of renewables**

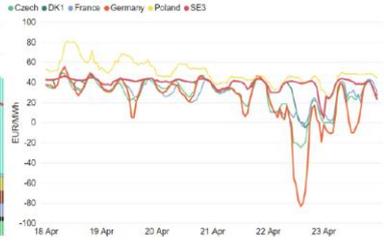
- Colorado, current target – 30% of renewables before 2020;
- Connecticut, current target – 40% of renewables before 2030;
- Illinois, current target – 25% of renewables before 2025;
- Nevada, current target – 25% of renewables before 2025;
- California – 50 % before 2026, 60% before 2030 and 100% before 2045
- Hawaii – 100% before 2045

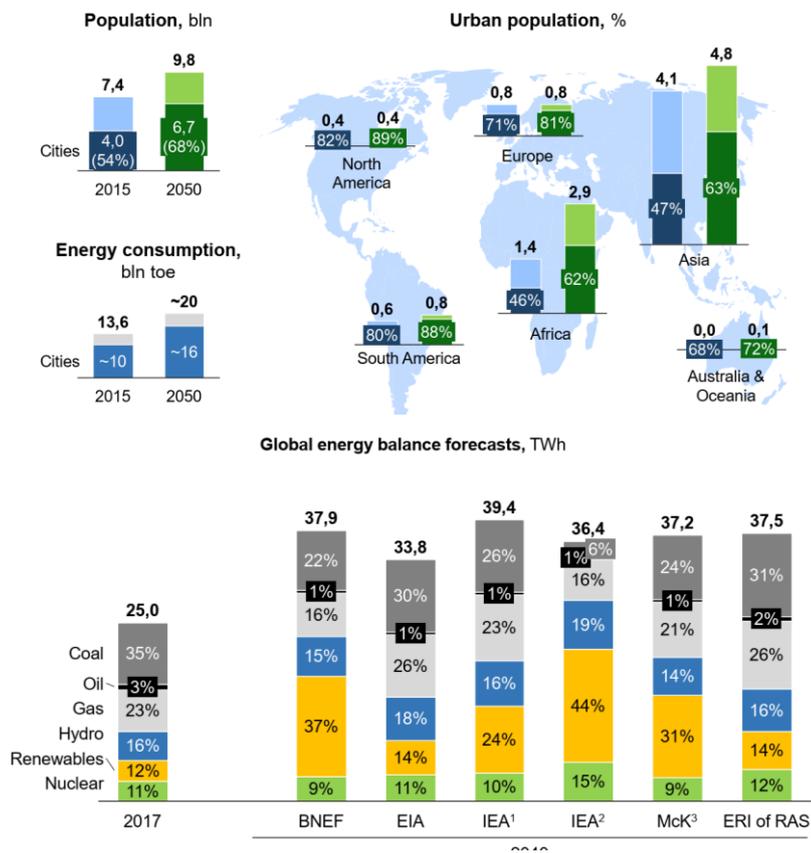
- Saudi Arabia** (10% before 2023)
- USA** (63% before 2050)
- UAE** (Up to 15% before 2035)
- Canada** (30%-40% before 2030)
- Brazil** (23% before 2030)
- Norway** (100% before 2030)

## Power generation and demand in Germany on Easter Monday 2019



## European spot prices during Easter





## Практические занятия

### Внедрение релейной защиты и ее автоматизация в интеллектуальных системах управления

Устройство системной синхронизации времени.

Устройство системной синхронизации времени (УССВ) предназначено для получения сигналов точного времени от системы спутников и синхронизации внутренних часов сервера, устройства сбора и передачи данных (УСПД) и счетчиков путем передачи этой информации в сервер системы.



Рис 41. Устройство системной синхронизации  
В состав УССВ входит:

- GPS–приемник,
- антенна,
- источник питания,
- пластиковый корпус, позволяющий монтировать устройство в шкафы или на панели с помощью несущего профиля TS35.

Приемник обеспечивает выполнение следующих функций:

- прием данных от 12 спутников одновременно;
- выдача информации по интерфейсу RS–232.

Шкаф УССВ предназначен для использования в случаях, когда из–за невозможности обеспечить уверенный прием сигналов спутника рядом с синхронизируемым устройством (например, сервером АСКУЭ) GPS–приемник необходимо установить на значительном от него расстоянии (до 1000 м).

Степень защиты корпуса – IP66 (IEC 60 529/10.91).

### Устройство сбора и передачи данных.

Устройство сбора и передачи данных (УСПД) является изделием повышенной функциональности, надёжности и точности, предназначенным для построения на его основе цифровых, пространственно распределённых, проектно–компонентных, иерархических, многофункциональных автоматизированных информационно–измерительных систем коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ) и автоматизированных систем коммерческого учёта энергоресурсов (АСКУЭ) с распределённой обработкой и хранением данных.



Рис 42. Устройство сбора и передачи данных.

УСПД рассчитано на применение в составе АИИС КУЭ объектов энергетики, промышленных предприятий и других организаций, осуществляющих самостоятельные взаиморасчёты с поставщиками или потребителями электроэнергии, а также для построения АИИС КУЭ субъектов оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭ) и построения систем АСКУЭ.

Измерительная информация УСПД в части коммерческих данных может служить основанием для проведения коммерческих расчётов между электропотребляющими и электроотпускающими организациями в соответствии с действующими договорными правилами и тарифами. УСПД может также использоваться для построения систем технического учёта электроэнергии и мощности.

Основное назначение УСПД – это сбор данных об электропотреблении и диагностической информации от первичных измерителей – микропроцессорных счётчиков электрической энергии с цифровыми интерфейсами, а также перевод, при необходимости, измеренных значений в именованные физические величины. Кроме того, УСПД предназначено для сбора данных с других УСПД, АИИС КУЭ, АСКУЭ, для высокоточного коммерческого учёта количества электрической энергии и значений мощности за фиксированные интервалы времени в условиях многотарифности, параметров сети и передачи по цифровым каналам.

На стенде установлено УСПД типа RTU–325L, которое может использоваться как для отдельных точек учёта, так и для многоуровневых систем, состоящих из множества компонентов. Благодаря цифровым интерфейсам типа Ethernet и RS–232 устройство сбора и передачи данных RTU–325L позволяет объединить счётчики электроэнергии по местам их расположения в объекты контроля. Дополнительные связные и интерфейсные компоненты (например, GLONASS/GPS–приёмник) могут способствовать увеличению дальности передаваемого сигнала, помехозащищённости передачи данных в каналах, а

также обеспечивать преобразование интерфейсов и коррекцию изменений текущего времени.

УСПД RTU–325L используются для решения следующих задач:

- сбор информации со счётчиков электроэнергии;
- сбор данных с подчинённых УСПД;
- ведение архивов расхода электроэнергии за различные периоды;
- ведение архивов профилей, подинтервалов, параметров электросети, автоотчетов;
- прямые и косвенные измерения и вычисления показаний счётчиков по активной и реактивной мощности в двух направлениях;
- измерение средних мощностей на интервале усреднения 1/3/5мин.;
- измерение средних мощностей на интервале усреднения 15/30мин.;
- измерение максимальной средней мощности на интервале усреднения 15/30мин.;
- измерение и учёт потребления активной и реактивной энергии (за сутки, неделю, месяц, квартал, год);
- измерение активной и реактивной энергии нарастающим итогом (за сутки, неделю, месяц, квартал, год);
- сбор профилей нагрузки и сервисных данных с цифровых интерфейсов счётчиков;
- сбор параметров электросети с цифровых интерфейсов счётчиков;
- сбор подинтервалов мощности с цифровых интерфейсов счётчиков;
- регистрация подинтервалов профиля величиной от 1 мин. И более с цифровых интерфейсов счётчиков;
- поддержка работы с микропроцессорными счётчиками с автоматическим переходом на летнее/зимнее время;
- автоматическое получение информации о предупреждениях и ошибках со счётчиков с записью в журнал событий УСПД;
- внутренняя диагностика состояния и функционирования изделия;
- передача накопленных данных информационно–вычислительному комплексу (ИВК) АИИС КУЭ с использованием интерфейсов Ethernet, RS–232, RS–485;
- обеспечение автоматического перехода с основного на резервный канал передачи данных;
- УСПД может выполнять функции устройства телемеханики контролируемого пункта (УТМКП);
- поддержание единого системного времени в компонентах АИИС КУЭ с использованием эталонного времени, получаемого от GPS–приёмника;

- сбор телеизмерений (ТИ) с цифровых датчиков;
- запись изменений ТС в архивы УСПД;
- регистрация состояния выключателей и привязка к расчётной схеме (учёт по присоединениям).

### Энергетические обследования

*Цель работы.* Снятие суточного графика нагрузки присоединения (кабельной линии, трансформатора), определение характеристик графика, оценка допустимости нагрузки присоединения.

*Основные теоретические сведения.* При эксплуатации оборудования систем электроснабжения (трансформаторов, кабельных линий электропередачи) важно знать нагрузку этого оборудования, уметь оценить ее допустимость. При превышении нагрузкой допустимых значений следует принимать меры по уменьшению нагрузки оборудования или заменять оборудование более мощным.

Графическое представление нагрузки потребителя в течение определенного времени называется графиком нагрузки. По количеству электроприемников (ЭП) различают индивидуальные и групповые графики нагрузки. По времени наблюдения различают сменные, суточные, годовые графики. По измеряемому параметру различают графики тока  $I$ , активной  $P$ , реактивной  $Q$  и полной  $S$  мощности.

График нагрузки снимается по показаниям измерительных приборов: амперметров, ваттметров, варметров, счетчиков электроэнергии. Показания приборов снимаются через определенный интервал времени  $\Delta t_i$ , внутри которого нагрузка  $I_i$  считается неизменной.

При обобщенном исследовании и расчетах нагрузок применяются некоторые величины и безразмерные коэффициенты, характеризующие режим работы потребителя электроэнергии. Рассмотрим эти характеристики.

Среднесуточная нагрузка определяется как площадь графика нагрузки, поделенная на длительность суток

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} I_i \Delta t_i}{24}.$$

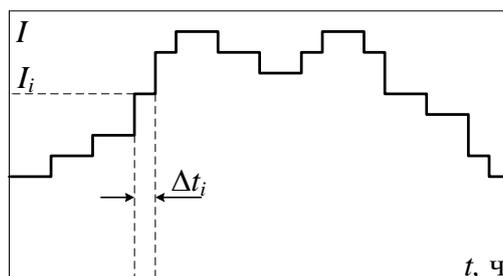


Рис 43. Многоступенчатый суточный график нагрузки

Среднесменная нагрузка рассчитывается, как правило, для наиболее загруженной смены

$$I_{\text{см}} = \frac{\sum_{i=1}^{t_{\text{см}}} I_i \Delta t_i}{t_{\text{см}}},$$

где  $t_{\text{см}}$  — продолжительность смены.

Коэффициент использования – основной показатель режима работы электроприемника, представляющий собой отношение среднесменной нагрузки к номинальной

$$K_{\text{и}} = \frac{I_{\text{см}}}{I_{\text{ном}}},$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток электроприемника.

Коэффициент формы характеризует отношение среднеквадратичной нагрузки к средней за данный период времени

$$k_{\text{ф}} = \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum I_i^2 \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}}{I_{\text{ср}}}.$$

Коэффициент заполнения характеризует отношение средней нагрузки к максимальной за данный период времени

$$K_{\text{з}} = \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{мах}}}.$$

Все характеристики графиков нагрузки, приведенные выше, записаны для токовой нагрузки. Эти характеристики справедливы и для мощностей (активной, реактивной и полной). В приведенные выше выражения вместо тока  $I$  подставляются, соответственно, мощности  $P$ ,  $Q$ , или  $S$ .

При оценке допустимой перегрузки оборудования систем электроснабжения (трансформаторов, кабелей и др.) многоступенчатый график нагрузки преобразовывается в двухступенчатый график, эквивалентный по тепловому воздействию на оборудование. На многоступенчатом графике нагрузки откладывается номинальный ток (мощность) трансформатора  $I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}$ . Отмечаются интервалы времени недогрузки трансформатора  $\Delta t_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) и интервалы времени перегрузки трансформатора  $\Delta t_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ).

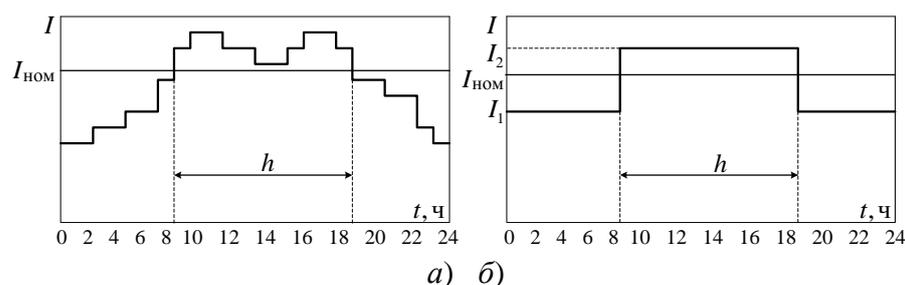


Рис 44. Многоступенчатый (а) и эквивалентный двухступенчатый (б) графики нагрузки ( $h$  – интервал перегрузки)

Преобразование графика выполняют по среднеквадратичным значениям нагрузки в периоды недогрузки и перегрузки трансформатора. Рассчитывается эквивалентная неизменная нагрузка в период недогрузки трансформатора.

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_1^2 \Delta t_1 + I_2^2 \Delta t_2 + \dots + I_m^2 \Delta t_m}{24 - h}};$$

и эквивалентная неизменная нагрузка в период его перегрузки

$$I_2 = \sqrt{\frac{I_1^2 \Delta t_1 + I_2^2 \Delta t_2 + \dots + I_n^2 \Delta t_n}{h}}.$$

Допустимость перегрузки трансформаторов определяют по ГОСТ Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.

#### *Порядок работы*

1. Включить питание собственных нужд шкафа КРУ.
2. Изменяя количество подключенных потребителей в соответствии с указаниями преподавателя, снять суточный график нагрузки присоединения. Количество подключенных потребителей определяется количеством включенных автоматических выключателей «Потр.», расположенных на задней стороне шкафа КРУ.
3. Для снятия графика нагрузки использовать многофункциональный микропроцессорный счетчик электроэнергии.
4. Рассчитать характеристики графика нагрузки.
5. Преобразовать график нагрузки в эквивалентный двухступенчатый график для трансформатора, мощность которого задается преподавателем.
6. Оценить по ГОСТ допустимость нагрузки трансформатора.

#### *Содержание отчета:*

- название и цель работы;
- суточный график нагрузки;
- характеристики суточного графика нагрузки;
- преобразование суточного графика нагрузки в эквивалентный двухступенчатый график;
- оценка допустимости нагрузки трансформатора;
- выводы по работе.

### **Энергосбережение в системах электроснабжения**

В практической работе изучается возможность сетевого соединения нескольких шин Acti9 Smartlink и различных типов устройств. В работе используются автоматические выключатели, автоматический выключатель со встроенным дистанционным управлением Reflex iC60, счетчики электрической энергии.

Схема установки представлена на рисунке.

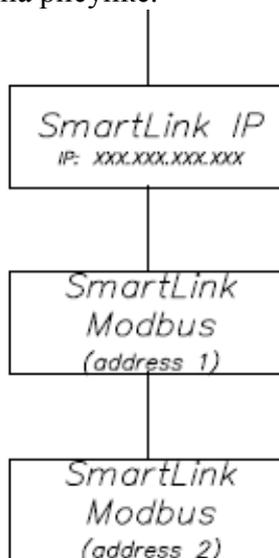


Рисунок 45. Схема лабораторной установки.

#### ***Порядок выполнения работы***

1. Ознакомьтесь со схемой подключения шины Acti9 Smartlink
2. Подойдите к стенду. Найдите все элементы, указанные на схеме.
3. Выясните все возможные IP адреса ПК и Acti9 Smartlink. Внесите полученные результаты в таблицу.

*Полученные результаты*

Наименование устройства	Pv 4	Pv6	Modbus Есть/нет	Modbus Master/Slave	MODBUS адрес	Доп. сведения
ПК						
Smartlink 1						
Smartlink 2						

4. Поменяйте IP адреса ПК и устройств таким образом, чтобы они оказались в подсети той сети, в которой находятся сейчас

*Текущие адреса устройств*

Наименование устройства	IPv4	Маска	Шлюз	Диапазон возможных адресов для подключения новых устройств
ПК				
Smartlink 1				
Smartlink 2				

*Новые адреса устройств после деления на подсети*

Наименование устройства	IPv4	Маска	Шлюз	Диапазон возможных адресов для подключения новых устройств
ПК				
Smartlink 1				
Smartlink 2				

5. Проверьте соединение устройств по сети используя команды pingtracert и пр.

6. Проверьте состояние устройств, подключенных к Smartlink сначала через WEB страницу, а потом физически по их состоянию на щите. Выполните переключения и проверки согласно данным, указанным в таблице.

1 строчка – выпишите состояние устройств (О – открыто, С – закрыто) в соседней клетке поставьте галочку, если то, что указано на Web странице, совпадает с фактическим положением устройства.

Следующие строчки - поменяйте фактическое состояние устройств согласно данным, указанным в этих строчках, в соседних клеточках поставьте галочку, если фактическое состояние этих устройств совпадают с состоянием этих устройств на Web странице.

7. Проверьте актуальность даты и времени. Если они неактуальны, актуализируйте их.

8. Сделайте доступным подключение к Smartlink по протоколу Modbus. Выпишите настройки для соединения по Modbus протоколу.

*Настройки для соединения по Modbus протоколу*

Скорость соединения	Четность	Стоповый бит

9. Создайте три события оповещение о которых будет приходить на электронную почту. Протестируйте работу данной опции.

10. Выпишите список ведомых устройств и их характеристики

*Список ведомых устройств и их характеристики*

Наименование ведомого устройства	Протокол	Адрес	Обозначение устройства

11. Изучите дополнительные функции для настройки оборудования через Web страницу.
12. Запустите программное обеспечение Acti9 SmartTest
13. Выполните подключения аналогично пункту 6 и зафиксируйте данные в таблице

*Таблица подключений*

F3.7	F1	F3.8	F2.4	F2.6	F3.9	F2	F2.1	F4	F2.2	F2.3	F2.5

14. Выполните имитацию неправильной установки устройства в ПО Acti9 SmartTestПротестируйте работу программного обеспечения в данном случае.
15. Выполните имитацию разрыва связи с устройством. Протестируйте работу программного обеспечения в данном случае.
16. Сделайте отчет с помощью встроенной функции в ПО Acti9 SmartTest

**Контрольные вопросы и задания**

1. Основные особенности использования Smartlink шины
2. Укажите особенности использования WEB интерфейса при конфигурировании Smartlink шины
3. Назовите основные команды, используемы для проверки соединения в командной строке.
4. Укажите особенности использования протоколов версий IPv4 и IPv6.
5. Укажите особенности и настройки устройств с функцией удаленного управления и без

**Энергосбережение в системах электропривода**

В ходе практики рассматривается ряд технологических цепочек предприятий минерально-сырьевого комплекса. В процессах добычи, переработки и транспорта полезных ископаемых электропривод применяется практически повсеместно. В качестве примеров рассматриваются рудники и шахты, угольный карьер, месторождения нефти и газа на шельфе, обогатительные комбинаты, линии обогащения руды и подготовки песка, транспортные системы нефти и газа и предприятия переработки нефти и газа.

Отдельно следует выделить то, что основным потребителем электроэнергии на рассматриваемых предприятиях является электропривод технологических установок. При этом из всей совокупности электродвигателей, основное распространение получили асинхронные двигатели. Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя представляет собой зависимость частоты вращения двигателя от момента силы, приложенного к валу двигателя нагрузкой. Частота вращения асинхронного двигателя наиболее близка к частоте сети только на холостом ходу, при приведении нагрузки к двигателю, частота вращения уменьшается, а скольжение увеличивается. Рабочая точка электропривода устанавливается на пересечении механической характеристики двигателя и механической характеристики приводимой установки.

Также дается обзор структуры автоматических систем контроля и управления современных электротехнических комплексов. Выделяются различные уровни управления, приводятся базовые принципы работы алгоритмов микроконтроллеров и локальных сетей связи.

Рассматриваются структура и проблемы, возникающие в современных системах электроснабжения. Приводятся основные стандарты и нормы качества электроэнергии, а также понятия надежности систем энергоснабжения.

На практических занятиях в рамках данного модуля студенты знакомятся с базовыми принципами управления современным частотно-регулируемым

электроприводом. Подробно рассмотрено две технологии, распространенных в настоящее время:

- применение широтно-импульсной модуляции (сокращенно ШИМ) для формирования токов, протекающих по обмоткам электропривода и определяющих режим работы электродвигателя;
- применения принципа формирования управляющего воздействия по известным координатам обобщенного вектора напряжения во вращающейся dq-системе координат (векторная ШИМ).

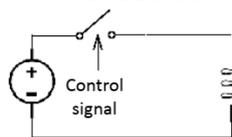
Учебная группа пошагово, пользуясь заранее заготовленными моделями и учебными материалами, под руководством преподавателя, знакомится с поведением тока цепи, обладающей значительной индуктивностью при подаче на нее импульсов напряжения, различной частоты и коэффициента заполнения. Далее разбирается топология простейшего инвертора. Происходит знакомство учебной группы с системой формирования импульсов, управляющих силовой цепью. При этом последовательно формулируются условия формирования постоянного и синусоидального тока.

Для преобразования сигнала задания в импульсы ШИМ, в современных электротехнических комплексах применяется особый математический аппарат. Обобщенные векторы, содержащие информацию о мгновенных значениях напряжений и токов, можно преобразовать в импульсы ШИМ посредством таблицы, в которой каждому сектору заданной плоскости соответствуют «базовые» векторы. Физически «базовые» векторы представляют собой матрицу состояния ключей инвертора. В ней ключи, которые должны быть открыты, обозначены единицей, а те, что должны быть закрыты - нулем. После знакомства с теоретическим аппаратом и исследовании блок-диаграмм, осуществляющих требуемые преобразования, студенты знакомятся с применением векторной ШИМ для управления инвертором и формирования синусоидальных токов в управляемом электродвигателе.

Так как электропривод практически повсеместно распространен в горнодобывающей промышленности, далее рассматривается пример работы электропривода на вентиляторную нагрузку, на примере водяного насоса. В современной электромеханике для определения режима работы установки используют диаграммы с электромеханическими характеристиками двигателя и нагрузки, а также, когда речь идет о насосной установке, диаграмму напора-расхода насоса и системы. Повлиять на напор в системе можно различными способами: изменяя характеристику насоса, посредством изменения частоты вращения двигателя, или посредством изменения характеристики системы, посредством включения задвижки. После ознакомления с этой концепцией, студенты сравнивают работу насоса с частотно-регулируемым двигателем и насоса, расход которого регулируется задвижкой. Сравняется потребление электроэнергии в обоих случаях, делаются выводы.

Слайды для практики

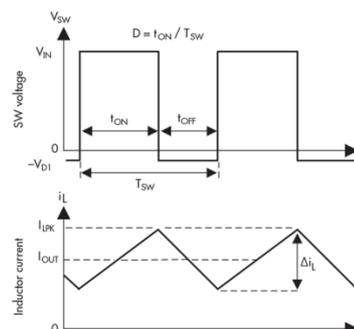
## Pulse Width Modulation



We can maintain medium current level in inductance or form inductor current by changing relation between on-time (time when key is closed also known as pulse duration or **pulse width\***) and full time switching period T. This relation usually call **duty-cycle D**.

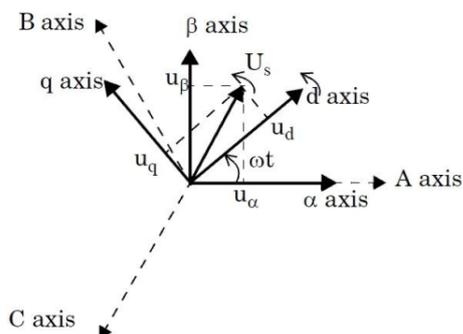
Run Exc2.slk

\***Modulation** means periodically changing in time



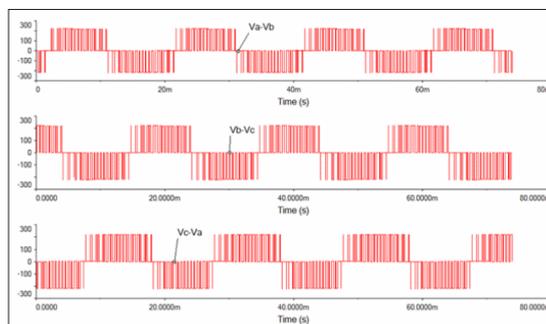
# Three Phase Systems. Generalized Voltage Vector.

Also it is possible to transform this three – degree system to two degree ( $\alpha\beta$  axes) using Clark transformation. Sometimes for calculation needs to consider **rotating coordinate system**.  
On the picture  $U_s$  – generalized vector. It rotates in  $\alpha\beta$  coordinates, but doesn't move in  $dq$  coordinates because coordinate system rotates with the same speed.



## Pulse Width Modulation

Of course these principals are appropriate to **three phase** systems. Here we will compose PWM and generalized vector. (so called **Space Vector PWM**)



### Лабораторные занятия.

#### Показатели качества электроэнергии

**Цель работы.** Получение навыков работы с цифровым измерителем мощности и энергии PowerLogic серии PM 5310. Исследование показателей качества электрической энергии в действующей сети электроснабжения аудитории

#### Основные теоретические сведения

Гармоники являются целыми кратными фундаментальной частоты энергосистемы. Информация о гармониках необходима для осуществления анализа качества электроэнергии, определения правильно подобранных трансформаторов, для осуществления технического обслуживания и поиска и устранения неисправностей.

Измерения гармоник включают в себя пофазные магнитуды и углы для фундаментальной гармоники и гармоник выше, относящихся к фундаментальной частоте. Настройка энергосистемы измерителя определяет наличие фаз и устанавливает, как подсчитываются гармоники линейного и фазного напряжения.

Данные гармоник содержат в себе информацию для определения влияния нелинейных нагрузок на энергосистему. Например, гармоники энергосистемы могут вызывать прохождение тока на нейтральном проводнике, повышать температуру в электродвигателе, что в результате ведет к повреждению подключенного оборудования. Источники стабилизированного питания или фильтры гармоник могут использоваться для минимизации нежелательных гармоник.

## **Коэффициент нелинейных искажений (THD) и коэффициент искажений нагрузки (TDD)**

Коэффициент нелинейных искажений (THD) является мерой измерения общего пофазного напряжения или гармоники тока в системе. Обеспечивает общую индикацию качества волновой формы. THD подсчитывается для каждой фазы напряжения и тока.

Коэффициент искажений нагрузки (TDD) является соотношением пофазного искажения тока гармоники и энергопотреблением максимальной нагрузки электрической цепи. TDD обозначает воздействие нелинейных гармонических искажений в системе. Например, если система демонстрирует высокие значения THD, но низкое энергопотребление, то воздействие нелинейного гармонического искажения на систему должно быть незначительным. Тем не менее, при полной нагрузке значение THD для гармоник тока равно TDD, что может негативно отразиться на работе системы.

Измеритель использует указанные ниже серии равенств для подсчета THD и TDD.

### **Расчет содержимого гармоник**

1. Расчет содержимого гармоник (HC).

$$HC = \sqrt{(H2)^2 + (H3)^2 + (H4)^2 + \dots}$$

Содержимое гармоник (HC) равно среднеквадратичному значению всех нефундаментальных компонентов гармоник в одной фазе энергосистемы.

2. Расчет содержимого гармоник для тока (HCI).

$$HCI = \sqrt{(HI2)^2 + (HI3)^2 + (HI4)^2 + \dots}$$

Ток содержимого гармоник (HCI) равен среднеквадратичному значению всех нефундаментальных компонентов гармоник тока (HI2...HI<sub>n</sub>) в одной фазе энергосистемы.

### **Расчет THD и thd**

Измеритель поддерживает два метода подсчета коэффициента нелинейных искажений: THD и thd.

**THD** является мерой измерения коэффициента гармоник в волновой форме и является соотношением содержимого гармоники к основной величине. Измеритель использует указанные ниже равенства для подсчета THD.

$$THD = \frac{HC}{H1} \times 100\%$$

где H1 равен фундаментальной гармонике.

**thd** является альтернативным методом подсчета коэффициента нелинейных искажений. Данный метод использует среднеквадратичное значение для содержимого гармоник, а не основное содержимое. Измеритель использует указанные ниже равенства для подсчета thd.

$$thd = \frac{HC}{\sqrt{(H1)^2 + (HC)^2}} \times 100\%$$

### **Расчет TDD**

Коэффициент искажений нагрузки (TDD) оценивает токи гармоники между конечным пользователем и источником питания. Значения ёгармоник основаны на общей точке нескольких соединений (PCC), являющейся общей точкой, от которой каждый пользователь получает электроэнергию от источника питания. Измеритель использует указанные ниже равенства для подсчета TDD.

$$TDD = \frac{\sqrt{(HCIA)^2 + (HCIB)^2 + (HCIC)^2}}{I_{Load}} \times 100\%$$

где I<sub>Load</sub> равен максимальной нагрузке потребления в энергосистеме

### **Содержание отчета.**

- название и цель работы;
- краткие теоретические сведения;

- описание лабораторной установки.
- таблица измерений;
- расчёт величин коэффициентов THD, thd, TDD и сравнение их с измеренными данными;
- выводы о типе нагрузке и гармонических искажениях.

#### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Укажите основные особенности использования и настройки цифрового измерителя мощности и энергии PowerLogic серии PM 5310
2. Укажите известные Вам способы расчета TDD и thd.
3. Опишите схему лабораторной установки и способы измерения коэффициентов
4. Укажите величину расхождения между расчетными и измеренными значениями коэффициентов. Объясните разницу этих величин.

### **Энергосбережение в системах электроснабжения**

*Цель работы* – ознакомление со способами, средствами и законами регулирования напряжения в распределительных сетях напряжением 3 ... 20 кВ.

#### *Основные теоретические положения*

Электроэнергия, поставляемая потребителям, должна иметь определенные качественные показатели, нормируемые ГОСТ 32144-2013. Большинство показателей качества электроэнергии связаны с режимом напряжения электрической сети, которое наряду с качеством электроэнергии определяет экономичность и надежность работы электрической сети.

Непрерывное изменение электрических нагрузок приводит к непрерывному изменению падений напряжения в элементах электрической сети и, следовательно, к непрерывному изменению отклонений напряжения  $U$  от его номинального значения  $U_{ном}$  в различных узлах электрической сети.

Наибольшие рабочие напряжения  $U_{рабmax}$ , определяемые надежностью работы изоляции, нормируются ГОСТ 721-77. Наименьшие рабочие напряжения электрических сетей, определяемые, главным образом, устойчивостью параллельной работы генераторов и узлов нагрузки, ограничиваются на уровне  $(0,8...0,9)U_{ном}$ .

Для обеспечения требуемых технико-экономических показателей режимов работы электрических сетей необходимо регулировать напряжение. Регулирование напряжения осуществляется на электрических станциях, подстанциях и непосредственно у потребителей электроэнергии.

Основной целью регулирования напряжения в распределительных сетях напряжением 3-20 кВ, находящихся в непосредственной электрической близости от потребителей, является поддержание отклонений напряжения у электроприемников в пределах, установленных ГОСТ 32144-2013.

Центром питания электрической сети напряжением 6-20 кВ являются шины соответствующего напряжения электрической станции или подстанции более высокой ступени напряжения.

Закон регулирования напряжения в центре питания (централизованное регулирование) определяется ПУЭ: устройства регулирования напряжения должны обеспечивать поддержание напряжения на шинах 6...20 кВ электростанций и подстанций, к которым присоединены распределительные сети, в пределах не ниже  $1,05U_{ном}$  в период наибольших нагрузок и не выше  $U_{ном}$  в период наименьших нагрузок этих сетей.

Трансформаторы (автотрансформаторы) подстанций имеют в обмотке высшего напряжения специальные ответвления, позволяющие изменять коэффициент трансформации и, следовательно, регулировать напряжение в течение суток.

В ряде случаев централизованное регулирование не может обеспечить требуемый уровень напряжения у всех потребителей. Это обусловлено различными параметрами линий, отходящих от центра питания, и неоднородностью графиков нагрузки различных потребителей. В таких случаях необходимо использовать местное регулирование

напряжения у потребителей, для которых не обеспечивается требуемый уровень напряжения.

В качестве средств местного регулирования напряжения могут использоваться линейные регулировочные трансформаторы  $TL$  и устройства продольной и поперечной компенсации.

Как правило, регулировочные трансформаторы целесообразно устанавливать в центрах питания для регулирования напряжения у отдельной группы потребителей, отличающейся по характеру нагрузки от остальных потребителей. Для мощных и удаленных нагрузок целесообразно использовать поперечную компенсацию реактивной мощности или продольную компенсацию реактивного сопротивления.

#### Описание лабораторной модели

Физическая модель электрической сети набирается блоками на универсальном лабораторном стенде. Для выполнения данной лабораторной работы используются блоки, указанные в табл.

Блок  $G1$  служит для питания электрической сети. Блоки  $A1$ ,  $A2$ ,  $A4$ ,  $A6$ ,  $A12$  являются физическими аналогами трансформатора, линии, нагрузок, установки продольной компенсации.

Таблица 5

**Блоки, используемые в работе**

Обозначение блока	Наименование блока	Тип	Параметры блока
$G1$	Однофазный источник питания	218.2	$\sim 220$ В; 10 А
$A1$	Однофазный трансформатор	372.1	80 В·А; 220/198...242 В
$A2$	Модель линии электропередачи	313.3	$\sim 220$ В; 0,3 А; $R=0 \dots 100$ Ом; $L=0 \dots 0,3$ Гн.
$A4$	Активная нагрузка (2 шт.)	306.4	$\sim 220$ В; 0...30 Вт
$A6$	Индуктивная нагрузка (2 шт.)	324.4	$\sim 220$ В; 0...30 вар
$A12$	Емкостная нагрузка	317.3	$\sim 220$ В; 0...30 вар
$A13$	Установка продольной компенсации	315.3	0 ... 188 мкФ / 0,3 А
$P1$	Блок мультиметров (2 мультиметра)	509.2	0...1000 В; 0...10 А; 0...20 МОм

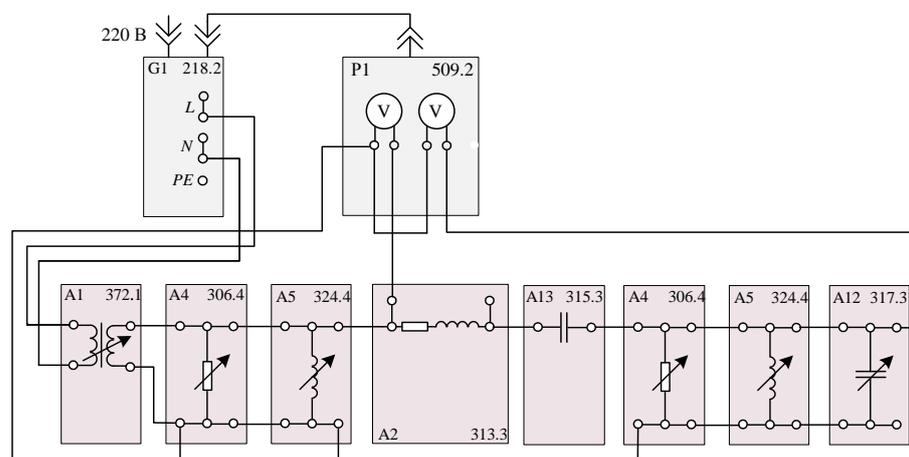


Рис 46. Схема электрических соединений

Мультиметры блока  $P1$  используется в данной работе как вольтметры.

Вставить блоки, указанные в табл. 7.1, на вертикальную двухрядную панель стенда. Порядок установки блоков может быть любой, но для логики схемы и удобства ее последующей сборки рекомендуется придерживаться следующих правил:

- верхний ряд слева направо устанавливаются блоки  $G1, P1$ ;
- нижний ряд слева направо устанавливаются блоки  $A1, A4, A6, A2, A13, A4, A6,$

$A12$ .

#### Порядок выполнения работы

1. Соединить желто-зелеными монтажными проводами гнезда защитного заземления  $\oplus$  всех блоков с гнездом  $PE$  блока  $G1$ .

2. С помощью монтажных проводов красного и черного цвета и U-образных перемычек собрать схему электрических соединений блоков, показанную на рис. 7.1.

3. Исходные данные для выполнения лабораторной работы задаются преподавателем, ведущим занятие. В соответствии с этими данными выставить параметры линии  $R$  и  $L$  и нагрузки. Параметры линии выставляются в Омах и Генри, параметры нагрузки – в процентах от 30 Вт и 30 вар.

4. Показать для проверки собранную схему преподавателю (лаборанту), проводящему лабораторную работу. Подключение стенда к питающей сети лаборатории выполняет преподаватель (лаборант).

5. Зашунтировать емкость блока  $A13$  и отключить емкость блока  $A12$ .

6. Включить выключатели однофазного источника питания  $G1$ . О наличии напряжения на его выходе должен сигнализировать красный светодиод.

7. Включить выключатели «Сеть» блока мультиметров  $P1$ .

8. Установить переключатели мультиметров в положение  $700\text{ V}\sim$  и  $2\text{ A}\sim$ . Активировать мультиметры нажатием красной кнопки на приборе.

9. Установить коэффициент трансформации трансформатора  $A1$  равным  $K_T = 1,0$ . Измерить напряжения на ближней ( $U_B$ ) и дальней ( $U_D$ ) нагрузках.

10. Провести централизованное регулирование напряжения на ближней ( $U_B$ ) и дальней нагрузках ( $U_D$ ). Для этого установить коэффициент трансформации трансформатора  $A1$  таким, чтобы напряжение на его выходе было не ниже  $1,05U_{ном}$  (не ниже 230 В). Измерить напряжения на ближней ( $U_B$ ) и дальней ( $U_D$ ) нагрузках.

11. Подключить емкостную нагрузку блока  $A12$ . Изменяя эту емкостную нагрузку, добиться напряжения на дальней нагрузке не ниже  $U_{ном} = 220\text{ В}$ .

12. Отключить емкостную нагрузку блока  $A12$  и расшунтировать емкость блока  $A13$ . Изменяя эту емкость, добиться напряжения на дальней нагрузке не ниже  $U_{ном} = 220\text{ В}$ .

13. Результаты измерений занести в табл.

14. По завершении измерений отключить автоматические выключатели источника  $G1$  и выключатели «Сеть» блока мультиметров  $P1$ .

Таблица 5

#### Результаты измерений

(параметры линии  $R = \dots\text{ Ом}$ ,  $L = \dots\text{ Гн}$ ; параметры нагрузки ближней  $P = \dots\text{ Вт}$ ,  $Q = \dots\text{ вар}$ ; параметры нагрузки дальней  $P = \dots\text{ Вт}$ ,  $Q = \dots\text{ вар}$ )

Отсутствие регулирования $K_T = 1,0$	
$U_B, \text{ В}$	$U_D, \text{ В}$
Централизованное регулирование $K_T = \dots$	
$U_B, \text{ В}$	$U_D, \text{ В}$
Поперечная компенсация ( $Q_k = \dots\%$ )	
$U_B, \text{ В}$	$U_D, \text{ В}$
Продольная компенсация ( $C = \dots\text{ мкФ}$ )	
$U_B, \text{ В}$	$U_D, \text{ В}$

*Содержание отчета:*

- название и цель работы;
- схема электрических соединений блоков физической модели;
- результаты измерений напряжения у ближнего и дальнего потребителя при отсутствии регулирования, при централизованном и местном регулировании напряжения;
- выводы по работе.

**Учебно-методические материалы**

**Модуль 3. «Современное энергетическое оборудование»**

**Лекция «Релейная защита и автоматика в интеллектуальных электрических сетях»**

Рассмотрены факторы, которые формируют эффективность энергетической сети, представлены и описаны удачные с точки зрения экономической и инженерной эффективности электротехнические комплексы промышленных предприятий. Введено понятие SmartGrid, рассмотрена её назначение и целесообразность использования. Рассмотрены обязательные компоненты и концепция ее интеграции в системы электроснабжения. Рассмотрены причины возникновения аварийных режимов работы и рассмотрены методы их предотвращения (интеграция релейной противоаварийной системы защиты)

Под интеллектуальными энергосистемами принято понимать концепцию SmartGrid, однако сложность в ее реализации заключается в том, что до настоящего времени не существует однозначного ее определения и состава.

Концепция SmartGrid — новая концепция, которая предполагает не столько модернизацию конкретных технологий и оборудования, сколько создание инновационного технологического базиса электроэнергетики — совокупности технологий, обеспечивающих более полное удовлетворение потребностей потребителей и других субъектов электроэнергетики путем существенного изменения физических и технологических характеристик и функциональных свойств основных компонентов энергосистемы. При этом в зарубежной энергетике также используются следующие определения интеллектуальной сети: FutureGrid, EmpoweredGrid, WiseGrid, ModernGrid, IntelliGrid.

В целом данная концепция предполагает объединение электрических сетей потребителей и производителей энергии в единую систему, которая в реальном времени позволяет отслеживать, контролировать и управлять режимами работы всех ее участников.

Интеллектуальная система реализует следующие функции:

- использование современных высокоинтеллектуальных средств контроля и управления генерирующими источниками, интеграцию источников возобновляемой энергии, распределенной генерации и накопителей электроэнергии в энергетическую систему, с целью повышения надёжности, экономичности производства электроэнергии (ЭЭ) и её качества;
- создание активно-адаптивной электрической сети на основе: мониторинга режимов и управления ими с использованием новых средств и технологий (искусственный интеллект и др.) для обеспечения надёжности передачи электроэнергии и управляемости электрической сети, внедрения распределённых систем автоматики и защиты на современной микропроцессорной основе с использованием информационных технологий;
- создание автоматизированных (цифровых) подстанций, построенных с использованием современного электротехнического оборудования, оснащённого

современными средствами и системами диагностики, мониторинга, релейной защиты и автоматики и управления на основе информационных технологий;

- внедрение оборудования, создаваемого с использованием нанотехнологий — высокотемпературных сверхпроводников, композиционных материалов;
- существенное повышение активности потребителей в управлении собственным электропотреблением.

Концепция «SmartGrid» и предъявляемые требования к системам противоаварийной автоматики и РЗА. Существующие решения для противоаварийной автоматики. Концепция «Microgrid» и применение распределенных источников энергии. Структура системы управления сетью «Microgrid» и место релейной защиты и автоматики в этой структуре.

Требования к работе релейной защиты и автоматики в сети «SmartGrid»: режимы сети с распределенными источниками электроэнергии; согласование с системами управления сетью, требования относительно качества электрической энергии. Структура защиты в сети «Microgrid». Стандарт IEC61850, как основа протоколов передачи информации в релейной защите: основные особенности и интеграция «Microgrid». Централизация систем релейной защиты и автоматики: применение устройств сопряжения (MU), возможная структура и особенности централизованных систем, по сравнению традиционными. Сети с распределенными источниками электроэнергии. Влияние распределенной генерации на работу релейной защиты и автоматики: ослепление защиты; нежелательные срабатывания; изменение направления токов; отказ повторного включения; снижение токов короткого замыкания; потеря питания от основного источника. Требования к релейной защите в системах с распределенными источниками электроэнергии. Алгоритмы функционирования релейной защиты в системах с распределенными источниками электроэнергии. Неадаптивные алгоритмы:

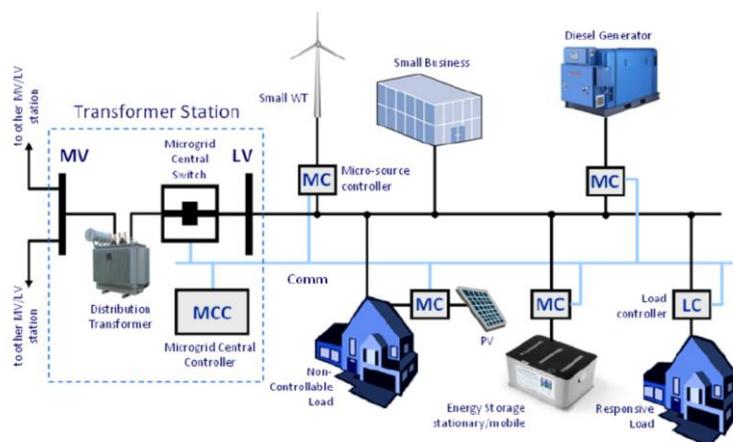
- защиты на основе контроля напряжения; защиты на основе контроля THD;
- защиты на основе дистанционных алгоритмов; защиты на основе дифференциальных алгоритмов; защиты на основе нулевой последовательности; защиты на основе контроля волновых процессов в линиях; защиты на основе алгоритмов распознавания образов;

использование

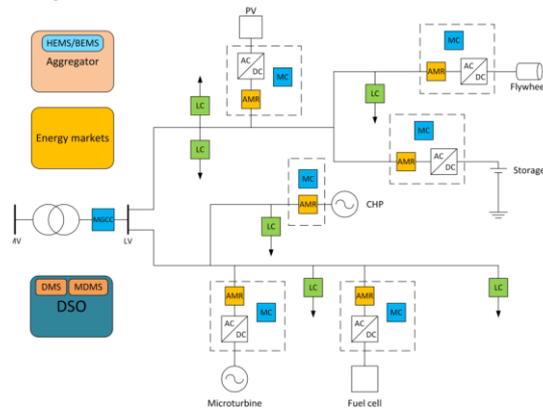
- дополнительных устройств. Адаптивные защиты с централизованным управлением: структура, принцип работы и особенности реализации.

Адаптивные защиты с децентрализованным управлением: принцип работы и особенности реализации.

### *Презентации к лекции.*



## Microgrid management system



MGCC – microgrid central controller  
 DSO – distribution system operator  
 MC – microsource controller  
 IED – intelligent electronic device  
 LC – load control  
 AMR – automatic registrator  
 MDMS – meter data management system  
 DMS – distribution management system

HEMS/BEMS – home/building energy management system

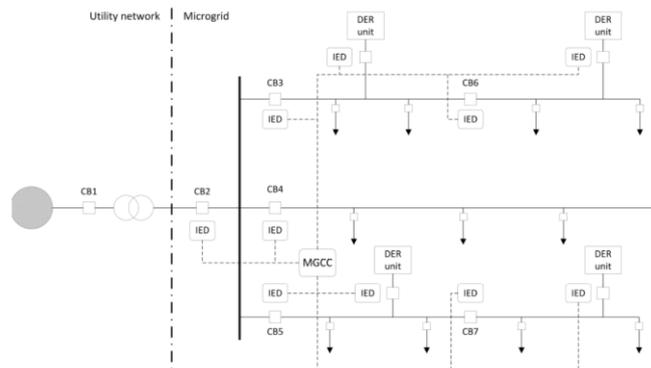
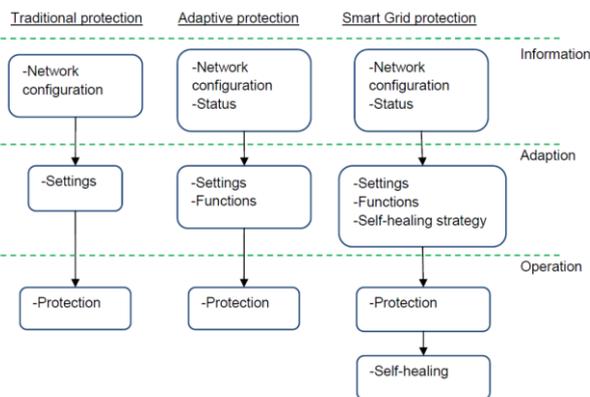
## Power quality specificities

Power quality measurements have to be monitored, analyzed and kept in the normative range in particular:

- ✓ Harmonics
- ✓ Frequency variations
- ✓ Transients
- ✓ Voltage sags and swells



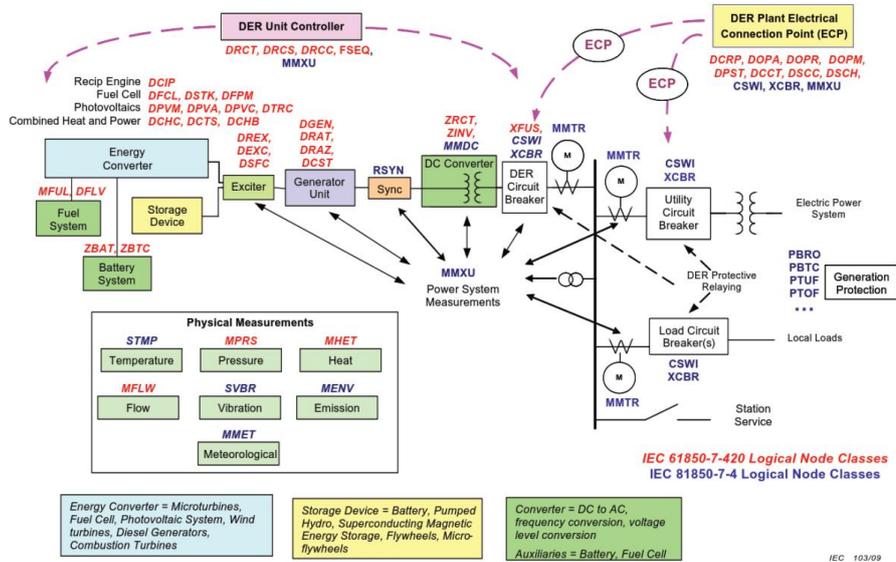
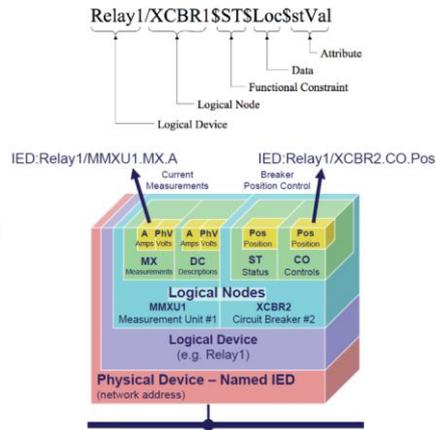
Power quality measurements are key to assure control, reliability, and standard compliance



MGCC – microgrid central controller  
 IED – intelligent electronic device  
 DER – distributed energy resource

IEC61850 is an object oriented substation automation standard that defines:

- Standardized names
- Standardized meaning of data
- Standardized abstract services
- Standardized device behavior models
- Mapping of these abstract services and models to specific protocols profiles for:
  - Control and Monitoring
  - Protection
  - Transducers



## Практические занятия

### Внедрение релейной защиты и ее автоматизация в интеллектуальных системах управления

Цель занятия: Ознакомление с аспектами внедрения релейной защиты в интеллектуальных системах электроснабжения.

### Технологические области SmartGrid

Технологическая область	Аппаратное обеспечение (оборудование)	Системы и программное обеспечение
Дистанционный мониторинг и контроль	Устройства синхронизированных векторных измерений (PMU) и другое чувствительное оборудование	Диспетчерский контроль и сбор данных(SCADA), системы мониторинга удаленных районов(WAMS), дистанционная адаптивная защита, управление и автоматизация (WAAPCA), широкомасштабные измерительные системы (WASA)
Интеграция информационных и коммуникационных технологий	Оборудование связи (канал ВЧ-связи по ЛЭП, WIMAX, LTE, сотовая связь), маршрутизаторы, реле, коммутаторы, сетевые шлюзы, компьютеры (сервера)	Программный пакет ERP (стратегия интеграции производства и операций, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, ориентированная на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия), система информации о клиентах (CIS)
Интеграция возобновляемой и распределенной выработки электроэнергии	Средства обеспечения качества электроэнергии для электропередач большой пропускной способности, средства связи и управления для создания и использования технологий хранения	Система управления энергией(EMS), системы распределенного управления (DMS), SCADA, географическая информационная система (GIS)
Увеличение передачи электроэнергии	Сверхпроводники, управляемые (гибкие) системы передачи переменного тока(FACTS), высоковольтная линия электропередачи постоянного тока (HVDC)	Анализ стабильности сети, автоматическая система восстановления
Управление распределительной сетью	Автоматические редукторы, переключатели и конденсаторы, дистанционно управляемая распределенная генерация и хранение, трансформаторные датчики, датчики проводов и кабелей	Управление аварийными отключениями, системы управления персоналом, системы распределенного управления (DMS), географическая информационная система(GIS)
Прогрессивные системы учета	СМАРТ-счетчики, сервера, реле	Система управления данными счетчика, система управления данными, система сбора и обработки данных измерений

## Возможные эффекты от внедрения технологии SmartGrid

№ п/п	Положительные последствия	Отрицательные последствия
1	Снижение расхода ЭЭ на собственные нужды подстанций	Повышение тарифов на передачу ЭЭ
2	Повышение эффективности управления электроэнергетическими режимами (надежность, устойчивость, гибкость и т.д.), снижение аварийности и упрощение диспетчеризации в ЕЭС России	Повышение степени импортозависимости
3	Снижение коммерческих потерь ЭЭ в электросетях за счет внедрения «интеллектуальных» систем коммерческого учета	Возможность кибератак на объекты электросетевой инфраструктуры
4	Снижение издержек электросетевых и энергосбытовых компаний	Необходимость привлечения значительных инвестиционных средств за счет кредитования, государственных субсидий и конечного потребителя
5	Повышение показателей качества ЭЭ и обеспечение надежного электроснабжения потребителей	Перекрестные субсидирование в электроэнергетике и повышение инфляции
6	Развитие «интеллектуальных» технологий и рынка оборудования SmartGrid	

Умный щит – низковольтное комплектное устройство для распределения электроэнергии и управления двигателями, готовое к удалённому управлению электроустановкой.

Архитектура Умного щита отличается от обычного щита распределения электроэнергии его некоторым дооснащением с целью предоставления одной или нескольких дополнительных возможностей и обеспечения готовности к интеграции в систему SCADA. SCADA (аббревиатура от английского supervisory control and data acquisition, диспетчерское управление и сбор данных) — программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. SCADA может являться частью АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии), системы экологического мониторинга, научных экспериментов, автоматизации здания и т. д. SCADA-системы используются во всех отраслях хозяйства, где требуется обеспечивать операторский контроль над технологическими процессами в реальном времени.

### **Основные электрические характеристики:**

Номинальное напряжение изоляции:  $U_i=1000$  В;

Номинальное рабочее напряжение:  $U_e=690$  В переменного тока;

Максимальный номинальный рабочий ток:  $I_n=3200$  А;

Максимальный ток короткого замыкания:  $I_{pk}=187$  кА (ударн.);

Допустимый сквозной ток короткого замыкания:  $I_{sw}=85$  кА (действ.)/1 с;

частота:  $f=50/60$  Гц;

Материал: листовая сталь;

Покрытие: обработка методом катафореза + слой термоотверждаемой порошковой эпоксидно-полиэфирной краски;

Цвет: белый RAL 9001; Разборный корпус;

Возможность установки шкафов в ряд или один за другим

**Описания лабораторной установки.**

Лабораторная работа проводится на действующем вводном распределительном устройстве 0,4 кВ (ВРУ), в котором установлен измеритель мощности и энергии PowerLogic серии PM 5310 фирмы SchneiderElectric.

Лицевая сторона щитового прибора, измерителя мощности и энергии PM 5310 приведена на рис., а его схема подключения внутри щита на рис.



Рисунок 47. Лицевая сторона измерителя мощности и энергии PM 5310  
**Автоматические выключатели на токи от 40 до 630 А Compact NSX.**

Выключатели Compact NSX являются токоограничивающими. Запатентованный принцип ротоактивного размыкания силовых контактов в сочетании с системой «рефлексного» отключения существенно ограничивают реально достижимую энергию, выделяющуюся в цепи короткозамкнутого контура при тяжелом коротком замыкании. В случае последовательного соединения нескольких выключателей Compact NSX за счет повышенной селективности при каскадном соединении обеспечивается срабатывание выключателя, расположенного ближе всего к повреждению, благодаря чему отключается только поврежденный участок сети. Вышестоящий выключатель остается включенным, что позволяет минимизировать ущерб от аварии и сохранить в работе неповрежденные участки сети. Номинальная отключающая способность равна максимальной ( $I_{cs} = 100\%I_{cu}$ ) и при напряжении сети до 415 В может составлять от 25 до 150 кА/

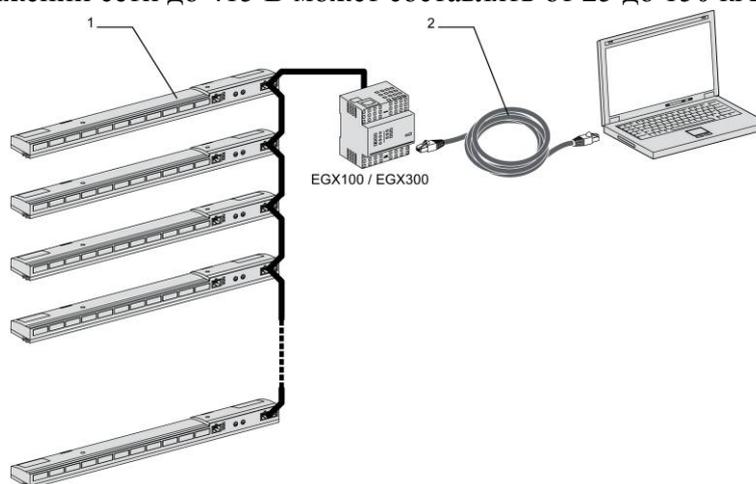


Рисунок 48. Схема подключения PM 5310 в ВРУ

Compact NSX предлагает применение возможностей блоков управления и контроля типа Micrologic (Рис. 3) таких как технический учет электроэнергии, удаленный доступ к контролю положения выключателя и управления им. Для Micrologic А и Е может быть использовано для отображения информации по месту, на дверце щита - с помощью выносной панели FDM121.

Пользователь имеет прямой доступ к необходимым ему параметрам и настройкам выключателя без необходимости проникновения внутрь щита. Перемещение между экранами с помощью нескольких клавиш интуитивно, чтение информации предельно упрощено благодаря прямому отображению параметров электрических величин (в Амперах, Вольтах, кВт•ч...) и русскоязычному меню. Доступ к данным посредством прямого считывания со щитового индикатора создают для пользователя безопасный доступ к значениям основных электрических величин: I, U, V, f, учет электроэнергии, мощность, общее гармоническое искажение). Подключение FDM121 индикатора к расцепителю осуществляется при помощи кабеля с разъёмом RJ45 и не требует специальной настройки или конфигурирования. Подключение к сети передачи данных по протоколу Modbus RTU достигается посредством установки дополнительного модуля (ULP-модуля). Данный модуль, как и панель FDM121, является универсальным элементом как в случае применения аппаратов Masterpact NT, NW, так и в случае применения аппаратов Compact NSX, Compact NS 630-1600 А.

Имеются четыре функциональных уровня, выбираемых в зависимости от потребностей:

1. передача состояний: отключено/включено, отключено по аварии;
2. передача команд: отключение, включение, возврат в исходное положение;
3. передача результатов измерений параметров режима сети и качества электроэнергии: I, U, f, P, E, cos F, спектр высших гармонических составляющих токов, фазных и линейных напряжений до 15 включительно;
4. передача данных для помощи в эксплуатации: настройки, заданные параметры, аварийно-предупредительные сигналы, хронологические протоколы и таблицы событий, индикаторы техобслуживания (количество выполненных коммутаций, степень износа контактов в %).

Функции 1, 2 могут быть реализованы посредством применения Compact NSX с электронными расцепителями Micrologic любого типа, функции 3, 4 – только с помощью расцепителей Micrologic E. Таким образом, Compact NSX сочетает в себе функции аппарата защиты и измерительного устройства с возможностью передачи и получения информации по шине связи.

Выключатели Compact NSX адаптированы к различным видам применения. Эта адаптируемость подкрепляется широкой гаммой аксессуаров и взаимозаменяемостью блоков управления и контроля «Micrologic». Чтобы гарантировать правильную установку или замену Micrologic используются винты со срывной головкой, что гарантирует соблюдение момента затяжки для каждой точки крепления расцепителя в контуры рабочего тока без применения специальных динамометрических ключей.

Управление основными защитными функциями осуществляет электронный компонент ASIC (Application Specific Integrated Circuit = интегральная схема специального назначения), гарантирует устойчивость к наведённым и излучаемым электромагнитным помехам и очень высокую степень надёжности. Измерительные функции управляются дополнительным микропроцессором. Электронные компоненты устойчивы к повышенным температурам (до 105°C). Выключатели Compact NSX отличаются оптимальными габаритными размерами что позволяет в свою очередь снижать габариты электроустановки, особенно в случае применения аппарата, в том числе, как устройства учета электроэнергии.

Обмен данными с автоматическими выключателями Compact NSX осуществляется с помощью установки в корпус аппарата устройства Micrologic E (учет электроэнергии, журнал событий, передача аварийных и предупредительных сигналов). Установка модуля BSCM и клеммника для подключения кабеля NSX cord может быть произведена на Compact NSX, оснащенный в том числе и любым другим электронным расцепителем Micrologic, если пользователю нужны только сигналы состояния автоматического выключателя/



Рисунок 49. Блок управления и контроля «Micrologic» для Compact NSX

Модуль BSCM (BreakerStatus&ControlModule) является модулем контроля состояний, а также позволяет управлять автоматическим выключателем (для последнего выключатель должен быть оснащен коммуникационным мотор-редуктором (МТс)). Встроенная память модуля предназначена для управления индикаторами техобслуживания (счётчиком механических коммутаций и счётчиком электрических коммутаций). Кабель NSX cord подключается к интерфейсному ULP-модулю, который имеет внешнюю установку на DIN-рейку (ширина 18 мм, универсальный для всех аппаратов Masterpact, CompactNS-NSX).

#### ***Щитовой индикатор FDM121.***

Щитовой индикатор FDM121 является устройством местного отображения информации, которую поддерживают в гамме Compact NSX расцепители серии Micrologic A, E и Micrologic A, E, P, H автоматических выключателей Compact NS 630b-1600 А, Masterpact NT и NW.



Рисунок 50. Щитовой индикатор FDM121

В составе электрического щита FDM121 решает следующие задачи:

- *Отображение измерений текущих значений тока, напряжения, частоты, мощности, рF потребленной электроэнергии. Отображение 10 последних событий, связанных с работой предупредительной сигнализации.*
- *Отображение 10 последних событий, связанных с аварийными отключениями данного выключателя. Отображение статуса автоматического выключателя (включен – отключен – отключен по аварии).*
- *Световой индикатор в случае появления аварийно-предупредительного сигнала облегчает быстрый поиск выключателя, выдавшего сигнал, и квитируется фактом нахождения информации о событии, инициировавшим срабатывание сигнализации.*

Щитовой индикатор FDM121 питается от источника 24 В пост. тока. Этот же источник питает модуль связи (BCM ULP) через кабель ULP, соединяющий Micrologic и FDM121.

Для решения задач учета электроэнергии на уровне конечного распределения предлагаются однофазные и трехфазные приборы прямого включения с монтажом на DIN-рейку и подключением импульсных выходов к шине SmartLink. Данные приборы

устанавливаются непосредственно в первичные цепи электрической схемы последовательно с автоматическими выключателями присоединений (Рис. 5).



Рисунок 51. Подключение электрических приборов к SmartLink шине

Серия однофазных счетчиков iEM2000 (рис. 6), iEM2000T, iEM2010 предназначена для учета и отображения потребления электроэнергии в однофазных цепях конечного распределения 230 ±20 В (1L + N) переменного тока класса точности 1,0: Приборы iEM2010 и iEM2000T, iEM3110/iEM3210 обладают импульсным выходом для передачи показаний электроэнергии. Посредством подключения к шине Smartlink приборы данного типа интегрируются в систему учета и распределения электроэнергии Умного щита. Приборы iEM3155/iEM3255 имеют выход Modbus RTU и могут быть по архитектуре построения сети передачи данных использоваться без использования шины Smartlink с непосредственным подключением к шине Modbus. Прибор iEM3255 может быть использован для измерений на вводе электроустановки в случаях, когда коммутационный аппарат ввода не содержит встроенного Micrologic E.



Рисунок 52. Однофазный счетчик серии iEM2000

С целью обеспечения возможности подключения Умного щита к АСУ Э рядом с силовыми коммутационными аппаратами устанавливаются устройства сбора и передачи данных (УСПД) нижнего уровня диспетчеризации. Для сбора информации от отдельных элементов Умный Щит используются простые интерфейсные модули: Acti 9 SmartLink (для сбора информации от приборов учёта с импульсными выходами, информации о состоянии коммутационных аппаратов конечного распределения и для управления ими, если это необходимо)

- ULP-модули (для связи аппаратов Compact NSX, Compact NS 630b-1600 A, Masterpact NT, NW).

Acti 9 Smartlink и ULP-модули имеют возможность задания адреса в подсеть Modbus RTU с помощью простых переключений на передней панели устройств, к таким устройствам относятся: Ethernet шлюз EGX300 и Ethernet шлюз G3200. С помощью сервера EGX300 можно реализовать простые и масштабируемые web- решения по мониторингу. С их помощью можно получать данные в реальном времени, обеспечивать регистрацию во встроенной памяти, построение графиков тенденций и простое управление периферийными устройствами. EGX300 помогает построить системное решение, возможности которого могут быть расширены с помощью мониторингового ПО с функциями сбора данных, построения графиков тенденций, обработки аварийных сигналов и событий, анализа и т. д.



Рисунок 53. Шлюз EGX300

Шлюз EGX300 выполняет две функции:

Обеспечение доступа к внутренней сети предприятия (Ethernet) путем преобразования фреймов Modbus в протокол TCP/IP/Modbus; Опциональная функция сервера web-страниц для информации, поступающей от аппаратуры. С помощью интерфейса Modbus к шлюзу EGX300 Ethernet, выполняющему функции сервера web-страниц, рекомендовано подключать не более 12-14 ULP-модулей аппаратов Умного Щита. Встроенные web-страницы легко конфигурируются пользователем. Информация на страницах обновляется в реальном времени. Просмотр осуществляется через сеть Internet предприятия при помощи подключённого к Ethernet компьютера со стандартным web-браузером, или с удаленного компьютера, если установлен модем. Рассылка сообщений и уведомлений, в первую очередь аварийных, например, о превышении пороговых значений, осуществляется автоматически по электронной почте или через SMS (ShortMessageService – адреса рассылки устанавливаются пользователем).

При применении счетчиков (iEM, PM, ION) и расцепителей автоматических выключателей Micrologic, EGX300 не требует настроек, при этом выполняет функции сбора и запоминания информации, которая доступна по присваиваемому IP адресу через логин и пароль, задаваемый пользователем.

Локальный дисплей и сервер энергохозяйства (для управления в режиме онлайн).

При управлении в режиме онлайн сервер энергохозяйства Com'X 200 (Рис. 8) позволяет собирать данные WAGES и отправлять их на платформу служб управления энергохозяйством.

Основные компоненты этого функционального блока:

- Сервер энергохозяйства Com'X 200;
- Источник питания 24 В пост. Тока;
- Коммутатор Ethernet;
- Локальный дисплей FDM128.

Сервер Com'X 200 собирает данные конечного распределения через Acti9 Smartlink (версия Ethernet) и отправляет их на платформу служб управления энергохозяйством, размещенную на хостинге в облаке Schneider Electric. Этот функциональный блок объединен с источником постоянного напряжения 24 В, используемым для питания цифровых устройств. Этот вспомогательный источник питания защищен отдельным автоматическим выключателем. В этой TVD-архитектуре сервер Com'X200 используется для сбора электрических параметров и данных температурного мониторинга от оборудования Smart Panel и передает их на хост-платформу по сети Ethernet.



Рисунок 54. Сервер Com'X 200

FDM128 представляет собой цветной ЖК-дисплей с сенсорным экраном, встроенный в главный электрощит. Он обеспечивает локальный мониторинг и управление сетью распределения.

Сервер энергохозяйства Com'X 200 может собирать данные от следующих устройств:

Счетчики с импульсным выходным сигналом, подаваемым напрямую на цифровые входы сервера.

Устройства, подключенные к сети Modbus RS485.

Устройства, подключенные к сети Ethernet TCP/IP.

Датчики (температуры, влажности и др.), напрямую подключенные к аналоговым входам сервера.

Сервер Com'X 200 записывает данные в журнал с периодичностью от 1 до 60 минут.

Эти данные могут передаваться на платформу онлайнных служб управления энергохозяйством следующими способами: по сетям Ethernet, Internet (ADSL, WIFI...); по протоколу GPRS, если узел изолирован, или если IT-администраторы запрещают использовать сетевую инфраструктуру.

### Архитектура цифровой подстанции

Цель занятия: ознакомиться с цифровыми устройствами входящими в состав цифровой подстанции.

Цифровые реле защиты, а также многофункциональные терминалы защиты и автоматики обладают многими замечательными свойствами, которые и определяют мировую тенденцию замены ими электромеханических реле.

*Самодиагностика.* Непрерывная автоматическая самопроверка цифровых реле позволяет персоналу быть уверенным в их исправности и надёжности срабатывания при КЗ. Этим обеспечивается сохранность электрооборудования, устраняется возможность излишних погашений потребителей и, следовательно, ущербов от недоотпуска электроэнергии.

*Совмещение функций* управления, контроля, визуализации и защиты электроустановок в цифровом многофункциональном устройстве (терминале) позволяет создавать на их основе нижний уровень автоматических систем управления технологическим процессом систем электроснабжения (АСУ ТП).

*Ускорение отключения КЗ,* достигается использованием различных времятоковых характеристик, трёх ступеней токовых защит, минимальных ступеней селективности по времени ( $0,15 \pm 0,3$  с), ускорением защиты после АПВ, а также выбором двух наборов уставок, автоматически сменяемых при изменении режима системы электроснабжения.

*Сокращение расходов* при создании систем электроснабжения и при их обслуживании.

*Обеспечение безопасности* оперативного персонала за счёт дистанционного обслуживания электроустановок.

**Структура цифровых устройств релейной защиты.** Цифровые устройства защиты различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи и подобны представленной на рис. 1.4. Центральным узлом цифрового устройства является микропроцессор, который через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов

осуществляется сопряжение микропроцессора с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором и т.д.

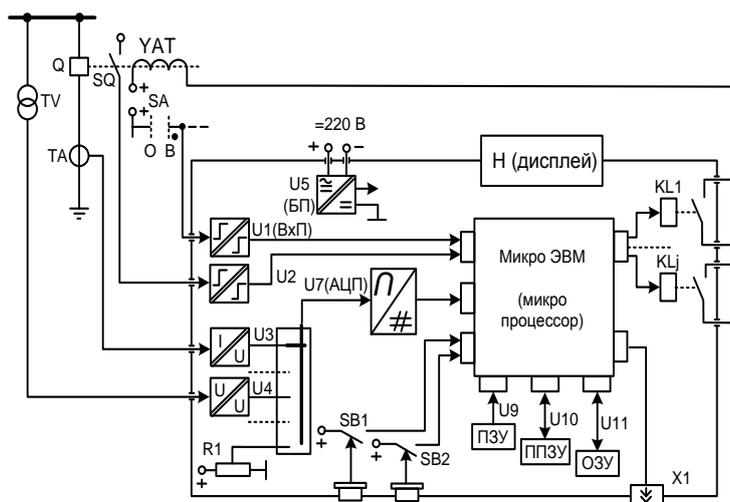


Рисунок 55. Структурная схема цифрового терминала защиты

Следует отметить, что в реальном устройстве защиты может использоваться несколько микропроцессоров, каждый из которых занят решением отдельного фрагмента общей задачи с целью обеспечения высокого быстродействия.

Непременными узлами любого цифрового устройства РЗА являются: входные ( $U1...U4$ ) и выходные ( $KL1...KLj$ ) преобразователи сигналов, тракт аналого-цифрового преобразования ( $U6, U7$ ), кнопки управления и ввода информации от оператора ( $SB1, SB2$ ), дисплей ( $H$ ) для отображения информации и блок питания ( $U5$ ). Современные цифровые устройства, как правило, оснащаются и коммуникационным портом ( $X1$ ) для связи с другими цифровыми устройствами.

**Входные преобразователи.** Они обеспечивают гальваническую развязку внешних цепей от внутренних цепей устройства. Одновременно входные преобразователи осуществляют приведение контролируемых сигналов к единому виду (как правило, к напряжению) и нормированному уровню. Здесь же осуществляется предварительная частотная фильтрация входных сигналов перед их аналого-цифровым преобразованием. Одновременно принимаются меры по защите внутренних элементов устройства от воздействия помех и перенапряжений.

Различают преобразователи аналоговых ( $U3, U4$ ) и логических ( $U1, U2$ ) входных сигналов. Первые стремятся выполнить так, чтобы обеспечить линейную (или нелинейную, но с известным законом) передачу контролируемого сигнала во всем диапазоне его изменения. Преобразователи логических сигналов, наоборот, стремятся сделать чувствительными только к узкой области диапазона возможного нахождения контролируемого сигнала. Такое исполнение позволяет в ряде случаев избежать неправильного действия устройства РЗА при замыканиях на землю в цепях оперативного тока.

**Выходные преобразователи.** Воздействия реле на объект защиты традиционно осуществляются в виде дискретных сигналов управления. При этом выходные цепи устройства защиты выполняют так, чтобы обеспечить гальваническую развязку коммутируемых цепей, как между собой, так и относительно внутренних цепей устройства защиты. Выходные преобразователи должны обладать соответствующей коммутационной способностью и, в общем случае, обеспечивать видимый разрыв коммутируемой цепи.

**Тракт аналого-цифрового преобразования** включает мультиплексор ( $U6$ ) и собственно аналого-цифровой преобразователь — АЦП ( $U7$ ). Мультиплексор — это электронный коммутатор, поочередно подающий контролируемые сигналы на вход АЦП. Применение мультиплексора позволяет использовать один АЦП для нескольких каналов.

В АЦП осуществляется преобразование мгновенного значения входного сигнала в пропорциональную ему цифровую величину. Преобразования выполняются с заданной периодичностью во времени. В последующем, в микропроцессоре по этим выборкам из входных сигналов рассчитываются интегральные параметры контролируемых сигналов — их амплитудные или действующие значения.

**Дисплей и клавиатура.** Они являются неизменными атрибутами любого цифрового устройства, позволяя оператору получать информацию от устройства, изменять режим его работы, вводить новую информацию. Надо отметить, что дисплей (H) и клавиатура (SB1,SB2) в цифровых реле, как правило, реализуются в максимально упрощенном виде: дисплей — цифробуквенный (одна или несколько строк); клавиатура — несколько кнопок.

**Порт связи с внешними цифровыми устройствами.** Достоинством цифровых устройств является возможность передачи имеющейся информации в другие цифровые системы: АСУ ТП, персональный компьютер и т. д., что позволяет интегрировать различные системы, экономя на каналах связи, затратах на предварительную обработку сигналов и т. п. Коммуникационный порт — необходимый элемент для дистанционной работы с данным устройством.

Практически вся обработка информации в цифровом реле осуществляется внутри микропроцессора по определенному алгоритму, реализованному в виде программы. Сегодня промышленностью предлагаются десятки разновидностей микропроцессоров и они непрерывно совершенствуются. По этой причине происходит периодическое обновление аппаратной базы в цифровых устройствах РЗА.

**Входное преобразование аналоговых сигналов.** Сигналы, контролируемые устройствами РЗА, имеют, в общем случае, разную физическую природу — токи, напряжения, температура и т. д. Чаще всего устройства защиты работают с сигналами от источников переменного тока и напряжения, с традиционными номинальными уровнями: 1 А, 5 А, 100 В. Такие уровни сигналов обеспечивают необходимую помехозащищенность, но совершенно неприемлемы для обработки в электронных схемах. Использование же датчиков с выходными сигналами, согласованными с требованиями электроники, наталкивается на необходимость либо резко ограничивать длину линий связи, размещая устройства вблизи датчиков информации, либо применять дополнительные меры по их защите от помех, такие как, экранирование.

При подключении микропроцессорных устройств к традиционным датчикам тока и напряжения требуется приведение сигналов к единому виду и диапазону изменения, приемлемому для обработки электронными узлами.

Наиболее часто входные согласующие преобразователи цифровых устройств выполняют на базе обычных электромагнитных трансформаторов с ферромагнитным сердечником. Несмотря на то, что такие трансформаторы имеют нелинейные передаточные характеристики, определенный разброс параметров, некоторую нестабильность во времени и при изменении температуры, они все же приемлемы для построения устройств защиты, допускающих работу с погрешностью  $2\div 5\%$ .

В промежуточных трансформаторах основное внимание уделяется снижению межобмоточной емкости, по которой возможно попадание импульсных помех внутрь устройства (см. рис. 1.5).

С этой целью секционируют вторичную обмотку или помещают между первичной и вторичными обмотками электростатический экран. Ввиду очень малого потребления мощности электронными узлами, преобразование токовых сигналов в напряжение осуществляют простейшим способом — с использованием шунтов R. Для защиты электронных узлов от возможных перенапряжений применяются варисторы (или стабилитроны) и фильтры низших частот, например на основе RC цепей. Эффективность фильтра низших частот обусловлена тем, что энергия импульсной помехи сосредоточена в высокочастотной части спектра. Ограничение полосы пропускания в области высоких частот необходимо для правильной работы аналого-цифрового преобразователя.

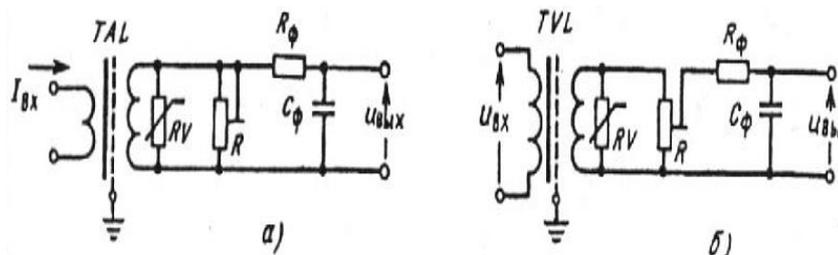


Рис 56. Схема входного преобразователя:  
а) при подключении к ТТ; б) при подключении к ТН

**Тракт аналого-цифрового преобразования.** Практически все реально существующие физические явления и процессы описываются аналоговыми сигналами. Аналоговый сигнал непрерывно изменяется во времени и может принимать любые значения в некотором диапазоне, определяемом природой физической величины. Дискретный (цифровой) сигнал может принимать лишь конечное множество значений и определен лишь для конкретных моментов времени.

Аналоговые сигналы от ТА и TV преобразуются промежуточными трансформаторами напряжения и тока ПТН и ПТТ, фильтрами низких частот и поступают на мультиплексор, обеспечивающий поочередно выборку мгновенных значений величин с выходов отдельных фильтров и их запоминание на время правильной работы АЦП. В результате выходные сигналы АЦП соответствуют в цифровом виде сигналам, модулированным по амплитуде синусоидальными функциями. Каждому аналоговому сигналу  $u(t)$  на выходе фильтра соответствует дискретный сигнал  $u(nT)$  на входе АЦП и цифровой сигнал на выходе АЦП, вводимый в вычислительное устройство ВУ, осуществляющее цифровую обработку сигналов.

Переход от непрерывного сигнала к дискретному всегда происходит с потерей некоторого количества информации. Конечное число градаций дискретного сигнала обуславливает погрешность квантования по уровню, а одной из причин необходимости квантования по времени является то, что и сам процесс аналого-цифрового преобразования, и последующий цикл вычислений в микропроцессоре требуют определенного времени, по истечении которого можно делать новую выборку из входного сигнала.

Характеризуя АЦП говорят о его разрядности и интервале дискретизации сигнала по времени  $\Delta t$  или частоте выборок  $f_b = 1/\Delta t$ , или, если речь идет о периодических сигналах с периодом  $T$ , о количестве выборок за период  $N = f_b T$ .

Для точного восстановления первоначального сигнала из его дискретного представления частота выборок должна, по крайней мере, вдвое превышать самую высокочастотную гармоническую составляющую входного сигнала, т.е.:

$$f_b \geq 2f_{\max} \text{ или } N \geq 2f_{\max} T.$$

Более того, при аналого-цифровом преобразовании из входного сигнала должны быть исключены все гармоники с частотой, более высокой, чем частота квантования. В противном случае, при восстановлении сигнала появляется разностная составляющая низкой частоты, поэтому на входе АЦП всегда устанавливают аналоговый фильтр нижних частот с полосой пропускания не более  $f_b$ .

В устройствах РЗА применяют АЦП с частотой выборок от 600 Гц до 2000 Гц. Более высокая частота выборок используется в том случае, когда устройство защиты обеспечивает еще и осциллографирование аварийного процесса. Цифровое устройство с частотой выборок 2000 Гц эквивалентно осциллографу с полосой пропускания  $0 \div 1000$  Гц.

Второй важной характеристикой АЦП является разрядность  $p$  формируемого им двоичного числа. Существует однозначная связь между разрядностью АЦП и точностью измерения аналоговой величины. Например, в двухразрядном АЦП на его двух выходах возможно формирование только четырех независимых числовых комбинаций: 00, 01, 10 и 11. Эти числа можно интерпретировать как нахождение входного аналогового сигнала в

одном из четырех поддиапазонов, ограниченных  $0 \div X_{\max}$ . В случае  $p$ -разрядного АЦП ступенька квантования при определении уровня сигнала составит  $X_{\max}/2^p$ . В энергетике из всех величин в наиболее широком диапазоне изменяется ток. В нормальном режиме работы электроустановки ток находится в пределах  $(0 \div 1)I_{\text{ном}}$ , в аварийных режимах достигает  $(10 \div 30)I_{\text{ном}}$ . Для преобразования с погрешностью не более  $(2 \div 5)\%$  требуемое число ступеней квантования  $m$  должно быть  $2000 \div 4000$ , т.е. требуется АЦП с разрядностью  $p = 11, 12$ .

**Входные преобразователи дискретных сигналов.** Практически во всей современной электронной аппаратуре ввод дискретных сигналов осуществляется через преобразователи на основе оптронов (см. рис. 1.6).

Собственное время переключения у оптронов составляет доли микросекунды. Для оптопары (светодиод-фотоприемник) характерна малая проходная емкость, что препятствует проникновению помех по этому пути. Допустимое напряжение между цепью управления и элементами управляемой цепи достигает нескольких киловольт, а рабочий ток светодиода VD составляет  $3 \div 5$  мА.

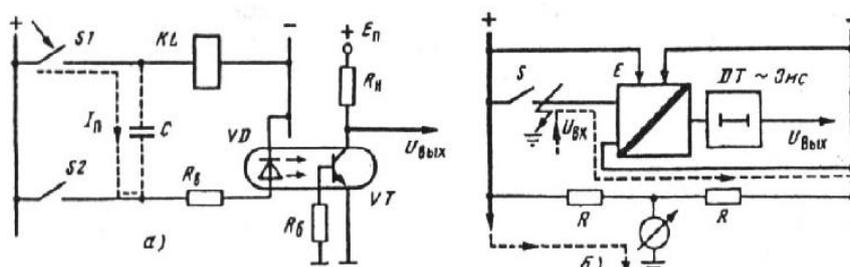


Рис 57. Варианты ввода дискретного сигнала

Малый входной ток оптрона с одной стороны является благом, так как приводит к снижению мощности, потребляемой преобразователем, решает проблему рассеивания тепла резистора  $R_B$  и уменьшает нагрузку на управляющий контакт S2. Но с другой стороны, малый рабочий ток оптрона приводит к ряду проблем.

В первую очередь, малый входной ток обуславливает низкую помехозащищенность преобразователя. Например, при наличии протяженного проводника, связывающего управляющий ключ S2 с оптроном, возможно ложное срабатывание при перезарядке паразитной емкости C в момент замыкания ключа S1 в сторонней цепи. Чтобы исключить ложную работу устройства P3 в такой ситуации, на выходе преобразователя устанавливают элемент задержки DT с фиксированной или регулируемой задержкой в формировании выходного сигнала. Для того чтобы отстроиться от переходных процессов, обычно достаточно задержки  $0,5 \div 3$  мс.

Устройства с малым потреблением могут реагировать на замыкания на землю в сети оперативного тока, так как их входной ток соизмерим с током цепи контроля изоляции сети оперативного тока. Для исключения этого входные цепи измерительного преобразователя E выполняют с привязкой к потенциалам полюсов сети оперативного тока и поднимают порог переключения преобразователя E до уровня  $60 \div 80\%$  номинального напряжения сети.

**Выходные релейные преобразователи.** Несмотря на очевидные достижения электроники в области коммутации высоких потенциалов и сильных токов в цифровых реле, в большинстве случаев по-прежнему используются промежуточные электромагнитные реле. Контактная пара пока еще остается вне конкуренции как единственное устройство, обеспечивающее видимый разрыв в коммутируемой цепи. К тому же это и самое дешевое решение. Как правило, в цифровых устройствах защиты применяются несколько типов малогабаритных реле: с большей коммутационной способностью – для работы непосредственно в цепях управления выключателей, с меньшей – для работы в цепях сигнализации. Мощные реле способны включать цепи с током порядка  $5 \div 30$  А, но их отключающая способность обычно не превосходит 1 А при напряжении 220 В. Таким образом, схема управления высоковольтным выключателем

должна предусматривать прерывание тока в цепи электромагнита отключения выключателя его вспомогательным контактом (концевой выключатель). Отключающая способность сигнальных реле обычно не превышает 0,15 А в цепях постоянного тока напряжением 220 В.

**Средства отображения информации.** Требования к средствам визуального отображения информации весьма противоречивы. Это является причиной большого многообразия в части дизайна лицевых панелей цифровых устройств защиты. Для отображения информации в реле используются и отдельные светодиодные индикаторы, и табло, и даже графические экраны.

**Оптоволоконные каналы передачи информации.** По сравнению с электрическими кабелями световоды обладают рядом достоинств:

- высокая помехозащищённость в условиях сильных полей;
- большая пропускная способность;
- безопасность при эксплуатации: исключается вынос электрического потенциала из электроустановки; невозможно возгорание кабеля по причине КЗ;
- не используется дефицитная медь, что делает их потенциально дешевле в перспективе при отработке технологии производства;
- высокие эксплуатационные характеристики: малый радиус изгиба, не критичность к условиям прокладки (возможна прокладка рядом с сильнотоковыми кабелями), малые массогабаритные показатели и т.д.

Основным недостатком оптических кабелей является сложность стыковки световодов между собой, а также с излучателями и приёмниками сигналов.

### **Отличительные особенности цифровых защит**

**Особенности обработки информации в цифровых реле.** Цифровые реле обладают всеми достоинствами, достигнутыми электронными реле с аналоговыми принципами обработки информации, а именно:

- более близкий к единице коэффициент возврата измерительных органов (0,96÷0,97 вместо 0,8÷0,85 у механических реле), что является результатом перехода от механических узлов сравнения к электронным узлам, нечувствительным к механическим ударам и вибрации;
- малое потребление мощности от трансформаторов тока и напряжения (на уровне 0,1÷0,5 ВА вместо 10÷30 ВА у электромеханических реле) вследствие использования их исключительно как датчиков информации. Правда, при этом электронным реле требуется надёжный источник питания. Практически, независимо от числа реализуемых функций, цифровое устройство защиты потребляет от сети оперативного тока мощность порядка 15÷20 Вт.

Однако некоторые характеристики цифровых реле остались на том же уровне, как у их аналоговых (электромеханических и электронных) прототипов.

**Собственное время срабатывания цифровых реле.** Собственное время срабатывания измерительных органов цифровых реле осталось таким же, как у их электромеханических аналогов. Это можно объяснить тем, что для определения интегральных параметров контролируемых токов и напряжений (действующих значений, фазовых сдвигов) требуется некоторое время. Так, согласно определению, действующее (эффективное) значение периодической временной функции  $x(t)$  находится по выражению:

$$X_{\text{э}} = \sqrt{\left( \frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt \right)}.$$

Как видно, расчёт действующего значения сигнала связан с вычислением интеграла в пределах периода изменения контролируемого сигнала. А это значит, что в

реальном времени результат вычислений этого интеграла может быть получен только после наблюдения за контролируемым сигналом  $x(t)$  в течение отрезка времени, равного периоду  $T$ . При этом не принципиально, будет ли использоваться численный метод интегрирования или аналоговое интегрирующее звено.

Цифровые реле, как и их аналоговые прототипы, в принципе могут формировать сигнал срабатывания и через более короткий отрезок времени, чем период  $T$ , если значение контролируемой величины заведомо превышает уставку.

Кажется, что в условиях, когда входной сигнал представляется только одной гармоникой, на вычисление действующего значения можно тратить меньше времени, так как амплитуда синусоиды и ее действующее значение могут быть вычислены после замера нескольких мгновенных значений. Однако в реальных сигналах всегда наряду с интересующей гармоникой присутствуют другие гармоники и апериодические составляющие. Выделение же из сложного сигнала интересующей гармоники требует времени.

**Работа реле при насыщении трансформатора тока.** Цифровые принципы обработки сигналов эффективно применяются и для обеспечения правильной работы реле при насыщении измерительных трансформаторов тока. Очевидно, что вторичный ток насыщенного трансформатора (жирная линия на рис. а) существенно отличается от его идеального значения (пунктир). Однако известно и то, что даже в случае глубокого насыщения ТТ в отдельные моменты времени трансформация осуществляется правильно (участки совпадения линий на рис. а).

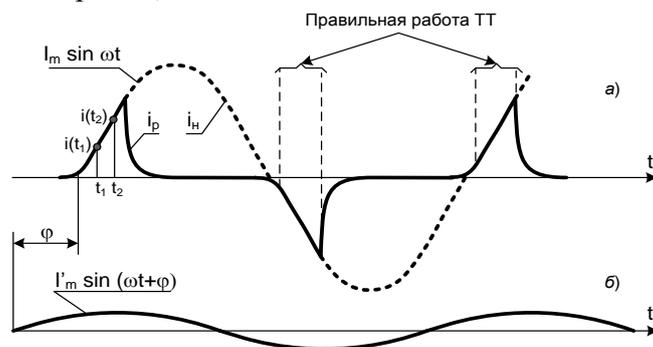


Рис 58. Насыщение трансформаторов тока

Этим обстоятельством можно воспользоваться для определения правильного амплитудного или действующего значения искаженного сигнала вторичного тока. Для этого необходимо измерить мгновенные значения тока на отрезках правильной трансформации, вычислить его амплитудное и действующее значение, предполагая, что закон его изменения известен  $i(t_1) = I_m \sin(\omega t_1 + \varphi)$ ,  $i(t_2) = I'_m \sin(\omega t_2 + \varphi)$ . Безусловно, реальный алгоритм восстановления искаженного вторичного тока при насыщении трансформатора гораздо сложнее.

Решение задачи восстановления токов требуется, например, в защитах от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью, где высока вероятность попадания трансформатора тока нулевой последовательности в режим глубокого насыщения. Принцип экстраполяции необходим и для правильного восстановления фаз сигналов. На рис. 1.7, б продемонстрировано, что выделение основной гармоники из искаженного сигнала путем частотной фильтрации приведет к большой погрешности в определении ее амплитуды и фазы. Однако и в этом случае точность работы цифровых защит будет выше, чем у аналоговых.

При работе с микропроцессорными устройствами РЗА следует принять все меры, исключая повреждение электронных компонентов статическим электричеством. При ремонте или обслуживании аппаратура должна располагаться на токопроводящем заземленном столе и тело работающего тоже должно иметь потенциал стола, что обеспечивается с помощью заземляющего браслета или кольца. Статический заряд способен разрушить полупроводниковые структуры или повредить их. Ни в коем случае

нельзя расстыковывать или состыковывать разъемные соединения блоков устройства, если оно находится под напряжением.

### Контрольные вопросы к теме:

1. Как соотносится собственное время срабатывания цифровых и электромеханических реле?
2. Какое устройство осуществляет ввод дискретных сигналов в цифровые устройства защиты?
3. Как соотносится надежность цифровых и электромеханических устройств защиты?
4. Какой коэффициент возврата у цифровых устройств РЗ?
5. У каких устройств РЗ (электромеханических, полупроводниковых, цифровых) проще реализовывать самоконтроль и диагностику?
6. Какое преимущество дает возможность использования различных времятоковых характеристик в устройствах цифровых РЗ?

### Лабораторные работы Обработка цифровых сигналов

Цель работы: изучить методы обработки цифровых сигналов

Во многих случаях результатом эксперимента является массив данных. Для получения каких-либо результатов или закономерностей этот массив данных необходимо обработать. Т.е. необходимо найти некую функцию, описывающую поведение исследуемых величин с допустимой ошибкой.

В системе Matlab существует множество функций, позволяющих обрабатывать массивы экспериментальных данных. Кроме этого, возможно применение специализированного приложения MatlabCurveFitingToolbox. Основное достоинство приложения заключается в том, что существует возможность мгновенной аппроксимации экспериментальных данных различными функциями и расчет критериев качества аппроксимации (коэффициент детерминации  $R^2$ , улучшенный коэффициент детерминации  $adj. R^2$ ).

Ниже рассмотрена функция аппроксимации экспериментальных данных `polyfit`, которая рассчитывает коэффициенты аппроксимирующего полинома заданного порядка.

Функция  $[p,S]=polyfit(X,Y,n)$  рассчитывает вектор  $p$  размерности  $n+1$ , который содержит коэффициенты аппроксимирующего полинома, соответственно  $p_1, p_2 \dots p_{n+1}$ , причем коэффициент полинома  $p_1$  соответствует аргументу функции, имеющему высшую степень, а  $p_{n+1}$  — является постоянной составляющей полинома. Также описанная выше функция возвращает структуру  $S$ , содержащую данные о выполненной аппроксимации (матрицу  $R$  — треугольную матрицу  $QR$  разложения,  $df$ -разность между размером исходного вектора и числом коэффициентов аппроксимирующего полинома,  $normR$ — норму погрешности). Данные структуры  $S$  важны, так как показывают качество выполненной аппроксимации. Аргументами функции `polyfit` являются  $X, Y$  — векторы исходных данных,  $n$  — порядок аппроксимирующего полинома (ограничений по размеру векторов  $X$  и  $Y$  не существует).

Норма погрешности определяется по формуле:

$$normR = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - f(X_i))^2}$$

Здесь  $X_i, Y_i$  —  $i$ -ые элементы векторов исходных данных  $X, Y$ ,  $f(X_i)$  — вычисленное значение аппроксимирующей функции в точке  $X_i$ . Данный статистический показатель является абсолютным и поэтому неудобен. Однако он позволяет определить привычный коэффициент детерминации  $R^2$  через формулу:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{norm}R^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2}$$

Здесь  $Y_i$ — $i$ -ый элемент вектора исходных данных  $Y$ ,  $Y_{cp}$  — среднее значение вектора  $Y$ . Как известно, чем ближе данный показатель к 1, тем успешнее аппроксимация экспериментальных данных.

В качестве примера рассмотрим получение статической характеристики нагрузки (СХН) в результате аппроксимации экспериментальных данных. Здесь СХН является зависимостью активной мощности от напряжения. СХН можно выразить аналитически в виде полиномов  $n$ -ой степени. С достаточной для практических расчётов точностью СХН выражаются полиномами второй степени.

Поставим себе задачу определения СХН по экспериментальным данным с помощью инструментов Matlab в виде:

$$P(U) = p_1 \cdot U^2 - p_2 \cdot U + p_3$$

Допустим, имеем некоторые массивы экспериментальных данных, представляющие собой измеренные в одни и те же моменты времени напряжение и активная мощность (таблица 4).

Вводим эти массивы в Matlab. Определим коэффициенты полинома второй степени СХН по напряжению. Для этого вводим следующую команду в Matlab:

```
[p, S]=polyfit(U, P, 2)
```

Здесь  $p$  — матрица коэффициентов полинома,  $S$  — матрица качественных показателей аппроксимации,  $U$  — матрица измеренных напряжений,  $P$  — матрица, соответствующих измеренных значений, активной мощности.

Таблица 8

**Экспериментальные данные**

№ измерения	U, о.е.	P, МВт
1	0,8	88,3
2	0,825	85,7
3	0,85	95,4
4	0,875	97,1
5	0,9	98,7
6	0,925	93,2
7	0,95	93,4
8	0,975	96,6
9	1	114,5
10	1,025	91,3
11	1,05	112,1
12	1,075	121,7
13	1,1	117,7
14	1,125	134,7
15	1,15	135,3
16	1,175	133,1
17	1,2	151,1

После ввода команды в командное окно будут выведены коэффициенты полинома в виде, представленном ниже:

```
P =
    393.8357 -644.9287  354.6317
```

Таким образом, коэффициенты полинома равны:  $p_1=393.8357$ ,  $p_2=-644.9287$ ,  $p_3=354.6317$ .

Общий вид полученной СХН:

$$P(U) = 393.8357 \cdot U^2 - 644.9287 \cdot U + 354.6317.$$

Для отображения аппроксимированной зависимости и одновременно экспериментальных данных вводим следующие команды:

```
Paprok=polyval(P,0.8:0.001:1.2);  
plot(0.8:0.001:1.2,Paprok,'r','Linewidth',2)  
hold on  
plot(U,P,'k.')  
legend('Аппроксимация','Эксперимент')  
xlabel('U,о.е.')  
ylabel('P,МВт')
```

На рисунке 2.15 точками обозначены значения, полученные в результате эксперимента, а сплошной линией — кривая, аппроксимирующая СХН в виде полинома второй степени.

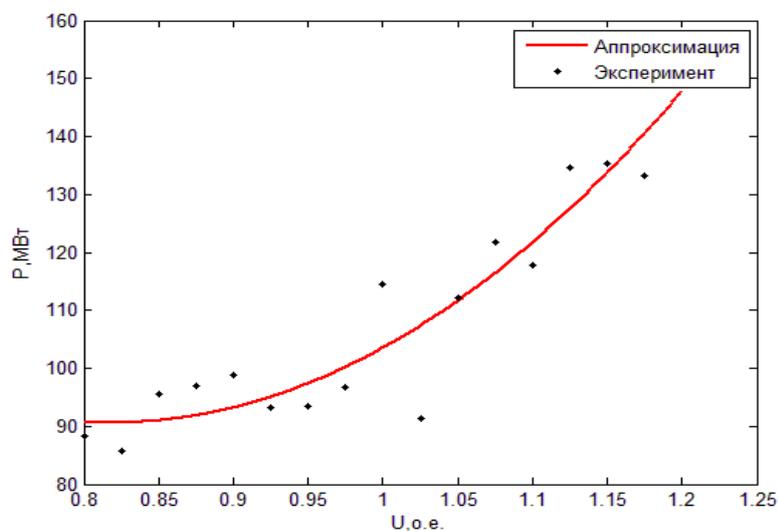


Рис. Аппроксимация СХН  $P(U)$

Таким образом, применение указанного выше инструмента программы Matlab позволяет аппроксимировать экспериментальные данные и получать регрессионные полиномиальные модели.

### Задание для самостоятельной работы

Определить значения общей мощности цепи, выделяемой на сопротивлениях от фазы источника напряжения  $U_2$ .

### Финальный кейс

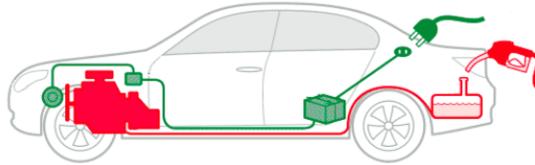
#### Слайды задания финального кейса

Smart City is the concept of the application of information and communication technologies as well as the Internet of Things (IoT) for the management of city property. The assets of the city include local departments of information systems, educational institutions, transport, hospitals, water supply systems, law enforcement agencies, government services and other services.

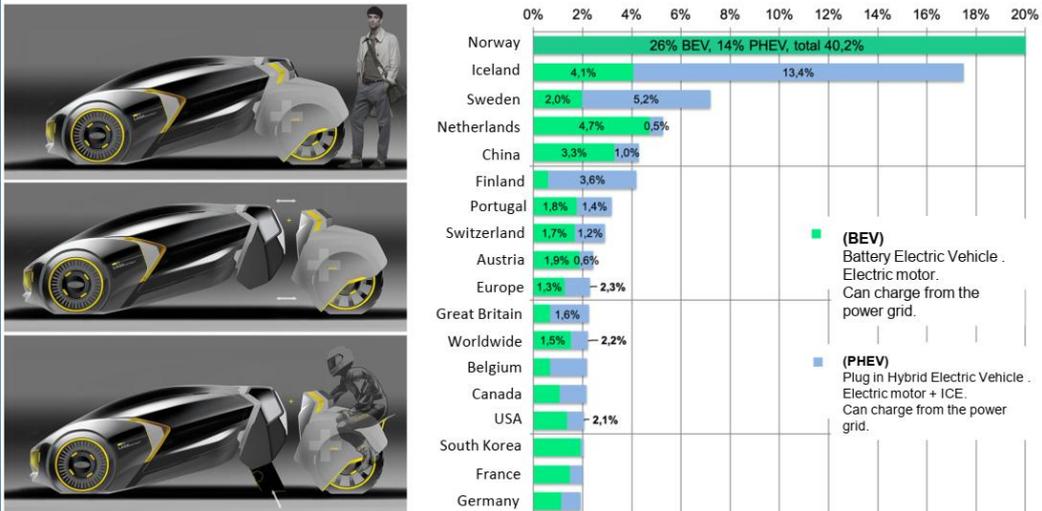
The goal of creating a "smart city" is not only improving the quality of life with the help of information technologies, but also optimizing the current urban infrastructure to improve the quality of services provided to residents.

## Electric Vehicle (EV)

- |   |  |
|---|--|
|  No air pollution                        |  Battery Disposal                                       |
|  Easy maintenance                        |  Low mileage per charge                                 |
|  Use of cheaper energy                   |  Long battery charging time                             |
|  Tax breaks from the state               |  Difficulty of use in cold climates                     |
|  Dynamic performance (fast acceleration) |  Additional infrastructure required (charging stations) |

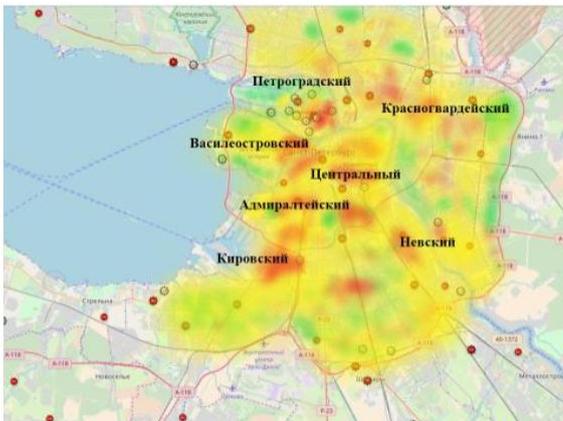


## The share of electric cars in the world



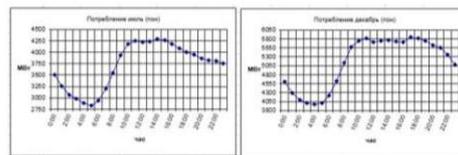
About 2500 electric vehicles are operated in Russia

## Problems of integration of electric vehicles in the power system



In order to connect new electrical consumers it is necessary to have free electrical power in the power supply grid nearby (i.e. power centers). The map of utilization of power centers in the power system of St. Petersburg is shown in the figure.

The problem of connecting mass gas stations for electric vehicles may be limiting the network bandwidth. Another limitation may be the passage of a peak during the day in the consumption of electricity in the power system.



Currently, most EV owners charge an electric car after returning from work, which increases the peak load in the evening. If 1 million electric cars are charged in this way, it will require 300 MW of additional power from the generators during peak hours, as well as network improvements. Therefore, there are concerns about the ability of the power system to cope with the increased energy consumption with a significant proportion of electric vehicles on the roads.

## Connected EV



78% of car buyers around the world postpone a purchase for one year to buy a car with their preferred brand services connected.

The term "connected car" means an electric vehicle equipped with wireless Internet access. This allows the car to launch applications such as streaming music services and Internet radio, use navigation services with real-time traffic updates, conduct local searches, use restaurant services and much more - all from the car's dashboard. This connectivity also allows the car to act as a Wi-Fi access point, providing access to the wireless Internet connection to other devices in the electric vehicle.

## Task



- 1) Develop a concept for the placement of charging stations for electric vehicles in St. Petersburg for the period 2020–2030.
- 2) Analyze and present the concept of using information and digital technologies to organize the management and interaction of electric vehicles with each other, the energy system of St. Petersburg and the Leningrad Region, owners of charging stations and other interested participants;
- 3) Consider the creation of technological, social and incentive programs to promote the widespread use of electric cars.

Take the share of electric vehicles from all road vehicles (for 2016) equal to 0.2% in 2020, 0.3% in 2021. Further every year it increases by 0.3%.