

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.И. Никифорова

« 30 » мая 2022 г.



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине (модулю)

Б1.В.05 «Методы энергосбережения на нефтехимических предприятиях»

(наименование дисциплины (модуля))

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

«Инновационные технологии в электрохозяйстве

нефтехимических предприятий»

(наименование профиля/программы/направленности/специализации)

магистр

квалификация

очная, очно-заочная

форма обучения

Нижнекамск, 2022 г.

Составитель ФОС:

Доцент  
(должность)

  
(подпись)

Н.И. Горбачевский  
(Ф.И.О)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ЭТЭОП, протокол от 21.04.2022 г. № 8

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Е.В. Тумаева  
(Ф.И.О.)

Эксперт:

Руководитель ООП Тумаева Е.В., зав. кафедрой ЭТЭОП НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Ф.И.О., должность, организация, подпись



***Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины***

Компетенция:

ПК-1 Способен разрабатывать научно-методическое и учебно-методическое обеспечение реализации программ профессионального обучения.

Индикаторы достижения компетенции:

1.1 Знает методологические основы современного профессионального образования, теорию и практику по программам профессионального обучения, перспективные направления развития профессионального обучения;

1.2 Умеет разрабатывать научно-методическое и учебно-методическое обеспечение реализации программ профессионального обучения с учетом требований нормативно-методических документов, требований рынка труда, в том числе профессиональных стандартов;

1.3 Владеет навыками разработки (обновления) методических и учебных материалов, обеспечивающих реализацию программ профессионального обучения.

Компетенция:

ПК-2 Способен формировать новые направления исследования в электроэнергетике.

Индикаторы достижения компетенции:

2.1 Знает отечественную и международную нормативную базу и современную научную проблематику в электроэнергетике;

2.2 Умеет анализировать новую научную проблематику в электроэнергетике;

2.3 Владеет навыками применения методов и средств планирования, организации, проведения и внедрения научных исследований и опытно-конструкторских разработок.

Для очного, очно-заочного отделения

<b>Индикаторы достижения компетенции</b>	<b>Этапы формирования в процессе освоения дисциплины</b>				<b>Наименование оценочного средства</b>
	<b>Лекции</b>	<b>Практические Занятия, лабораторный практикум</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Курсовой проект (работа)</b>	
ПК-1.1	Тема 1,Тема 4	Тема 4	Тема 4	Не предусмотрены	Лабораторная работа Практическая работа Коллоквиум Экзамен
ПК-1.2	Тема 1,Тема 4	Тема 4	Тема 4	Не предусмотрены	Лабораторная работа Практическая работа Коллоквиум Экзамен
ПК-1.3	Тема 1,Тема 4	Тема 4	Тема 4	Не предусмотрены	Лабораторная работа Практическая работа Коллоквиум Экзамен
ПК-2.1	Тема 2,Тема 3,Тема 5	Тема 5	Тема 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа Практическая работа Коллоквиум Экзамен
ПК-2.2	Тема 2,Тема 3,Тема 5	Тема 5	Тема 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа Практическая работа Коллоквиум Экзамен
ПК-2.3	Тема 2,Тема 3,Тема 5	Тема 5	Тема 5	Не предусмотрены	Лабораторная работа Практическая работа Коллоквиум Экзамен

***Перечень оценочных средств по дисциплине «Методы энергосбережения  
на нефтехимических предприятиях»***

Для очного, очно-заочного отделения

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	2	16	26
Практическая работа	2	12	18
Коллоквиум	1	8	16
Экзамен	1	24	40
Итого:		60	100

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

### Краткая характеристика оценочных средств

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование оценочного средства</i>	<i>Краткая характеристика оценочного средства</i>	<i>Представление оценочного сред- ства в фонде</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1.	Лабораторная работа	Это вид учебной работы, целью которой является изучение (исследование, измерение) характеристик лабораторного объекта. Цель лабораторных занятий: освоение изучаемой учебной дисциплины; приобретение навыков практического применения знаний учебной дисциплины (дисциплин) с использованием технических средств и (или) оборудования	Темы лабораторных работ, контрольные вопросы по теме лабораторной работы, вопросы к коллоквиуму
2.	Практическое занятие	В ходе практических работ студенты овладевают умениями пользоваться работать с нормативными документами и инструктивными материалами, справочниками, составлять техническую документацию; выполнять чертежи, схемы, таблицы, решать разного рода задачи, делать вычисления, определять характеристики различных веществ, объектов, явлений. Цель практических занятий заключается в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач в процессе совместной деятельности с преподавателями.	Темы практических занятий; контрольные вопросы и задания по теме практического занятия
3.	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет: информационных технологий*

*Кафедра: электротехники и энергообеспечения предприятий*

Учебным планом по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» для обучающихся предусмотрено проведение лабораторных занятий по дисциплине «Методы энергосбережения на нефтехимических предприятиях».

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения: лабораторного оборудования, образцов для исследований, методических пособий. Цель проведения лабораторных работ - практическое освоение теоретических положений лекционного материала, а также выработка студентами определенных умений и навыков самостоятельного экспериментирования.

**Лабораторная работа №1. Определение энергопотерь однофазного трансформатора.**

*Цель работы.* Проведение эксперимента по режиму холостого хода и короткого замыкания трансформатора с целью определения энергопотерь и изучения влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и КПД трансформатора.

**Порядок выполнения работы**

- Ознакомиться с устройством трансформатора; записать его паспортные данные; изучить электрическую схему для исследования трансформатора.
- Собрать схему опыта ХХ трансформатора, выполнить опыт ХХ. Показания измерительных приборов занести в таблицу. Выполнить расчеты.
- Собрать схему опыта КЗ трансформатора и после проверки ее преподавателем выполнить опыт КЗ. Показания измерительных приборов заносят в таблицу.
- Для различных типов нагрузки рассчитать потери напряжения  $\Delta U_2$ , вторичное напряжение  $U_2$  и КПД трансформатора  $\eta$ . Данные расчета занести в таблицу.
- Измерить вторичное напряжение при нагрузке R, RL, C в схеме  $U_2$ , значение занести в таблицу, и сравнить с рассчитанным  $U_2$ .
- Для нагрузки R, RL, C рассчитать потери напряжения  $\Delta U_2$ , вторичное напряжение  $U_2$  и КПД трансформатора  $\eta$ . Данные расчета занести в таблицу. Коэффициент загрузки трансформатора  $\beta$  определить экспериментально.
- Измерить вторичное напряжение при нагрузке R, RL, C  $U_2$ , значение занести в таблицу, и сравнить с рассчитанным.
- Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Ответить на контрольные вопросы:

1. Какие параметры трансформатора определяются по данным опытов ХХ и КЗ?
2. Дать определение напряжения короткого замыкания трансформатора, измеряемого в процентах. От чего зависит и для чего используется этот параметр?
3. Почему при изменении нагрузки трансформатора его вторичное напряжение не остается постоянным?



4. Что такое внешняя характеристика трансформатора, какой она имеет вид и какими параметрами определяется?
5. Что представляет собой К.П.Д. трансформатора и от чего он зависит?
6. Какие потери активной мощности возникают в трансформаторе и почему?

## **Лабораторная работа №2. Исследование энергопотерь трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.**

*Цель работы.* Изучение и проведение эксперимента по режиму холостого хода и короткого замыкания асинхронного электродвигателя

### **Порядок выполнения работы**

- Ознакомиться с устройством исследуемого асинхронного двигателя с фазным ротором и машиной постоянного тока, которые соединены между собой механически.
- Снять данные из опыта ХХ АД.
- Снять данные и построить характеристику трехфазного КЗ АД с ФР. Изучить и собрать схему испытания АД с ФР в режиме КЗ.
- Собрать схему опыта АД с ФР «под нагрузкой». Снять данные.
- Полученные данные занести в таблицу..
- Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Ответить на контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип действия асинхронного двигателя?
2. Устройство асинхронного двигателя.
3. Что такое скольжение и каким оно обычно бывает у асинхронных двигателей?
4. С какой целью у асинхронного двигателя обычно делают все шесть выводов обмотки статора?
5. Что такое реверс и как его осуществить в трехфазном асинхронном двигателе?
6. Какие характеристики асинхронного двигателя называют рабочими?
7. Как изменится вращающий момент асинхронного двигателя, если напряжение на его выводах обмотки статора уменьшить в  $\sqrt{3}$  раз?
8. Что такое перегрузочная способность асинхронного двигателя и какова ее зависимость от напряжения питания двигателя?
9. Почему при недогрузке асинхронный двигатель работает с малым значением коэффициента мощности?
10. Потери мощности в асинхронном двигателе и причины их возникновения.
11. Каковы характерные точки механической характеристики асинхронного двигателя?
12. Формула Клосса. Зачем она нужна?

### **Критерии оценки лабораторных работ**

При подготовке к лабораторной работе по дисциплине «Методы энергосбережения на нефтехимических предприятиях» в 1 семестре студент должен выполнить следующие виды работ:

Для очного, очно-заочного отделения

<b>Виды работ</b>	<b>Минимальный балл</b>	<b>Максимальный балл</b>
Самостоятельная проработка теоретического материала к лабораторной работе	2	3

Ознакомление с установкой, прибором, методикой выполнения лабораторной работы	1	2
Выполнение необходимого эксперимента	2	3
Обработка результатов исследования, построение графиков	1	2
Анализ результатов исследования и вывод по работе	2	3
<b>ИТОГО :</b>	<b>8</b>	<b>13</b>

Таким образом, каждая лабораторная работа оценивается минимум в 8 баллов, максимум в 13 баллов. После выполнения всех работ рассчитывается итоговый балл по данному оценочному средству, как среднее арифметическое по всем лабораторным работам.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет: информационных технологий*

*Кафедра: электротехники и энергообеспечения предприятий*

Учебным планом по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» для обучающихся предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Методы энергосбережения на нефтехимических предприятиях» в 1 семестре.

Обучающимся предлагаются разноуровневые задачи и задания реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей.

**Комплект заданий  
для очного и очно-заочного отделений  
Практическая работа 1**

**Исследование энергетических показателей регулируемого электропривода ленточного транспортера**

*Цель работы:* Изучение системы регулируемого электропривода транспортера на базе ЧРП.

*Основные теоретические сведения и соотношения*

Ленточный транспортер – транспортирующее устройство непрерывного действия с рабочим органом в виде ленты. Основное назначение конвейера – перемещение грузов по заданной трассе из одного пункта в другой.

Ленточный конвейер является наиболее распространённым типом транспортирующих машин, он служит для перемещения насыпных или штучных грузов. Применяется на промышленных производствах, в рудниках и шахтах, в сельском хозяйстве. В зависимости от свойств и природы перемещаемого груза угол наклона рабочей стороны ленты может быть установлен до 30°.

Ленточные конвейеры бывают передвижными, переносными, поворотными и стационарными. Стационарные машины применяют для перемещения большого количества материалов на расстояние от 3 до 3000м., а передвижные и переносные машины – для перемещения небольшого количества материала на расстояние от 2 до 20м.

Конвейеры являются составной, неотъемлемой, иногда очень важной частью современного технологического процесса, они устанавливаются и регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность, способствуют повышению производительности труда и увеличению выпуска продукции. Наряду с этим конвейеры являются основными средствами комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и складских работ.

На предприятиях конвейеры используются в качестве:

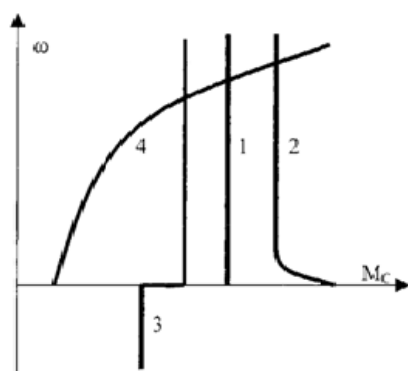
- высокопроизводительных транспортных машин, передающих грузы из одного места в другое на участках внутризаводского и внешнего транспорта;

- транспортных агрегатов, мощных перегрузочных устройств, погрузочно-разгрузочных машин; машин для перемещения грузов – согласно технологическому процессу поточного производства от одного рабочего места к другому, от одной технологической операции к другой, регулируя темп производства и совмещая, иногда, функции накопителей (подвижных складов) и распределителей грузов – изделий по отдельным технологическим линиям;

- машин и передаточных устройств в технологических автоматических линиях изготовления и обработки деталей и узлов изделий.

Для решения задач, поставленных перед транспортерами необходимо помнить, что представляют собой механические характеристики рабочих органов, в частности конвейеров.

Так на рис.2.2 показаны механические характеристики некоторых рабочих машин.



**Рис. 2.2.** Механические характеристики

Характеристика 1 соответствует машинам с рабочим органом резания; если толщина снимаемого резцом слоя постоянна, то момент сопротивления такой машины не зависит от скорости. Характеристика 2 отвечает условиям работы машин, где момент сопротивления определяется, главным образом, силами трения (транспортеры, конвейеры и др. машины). В этом случае момент сопротивления также не зависит от скорости механизма, однако, при пуске механизма момент, создаваемый силами трения покоя, может существенно превышать момент сил трения при движении.

Характеристика 3 относится к грузоподъемным механизмам, где момент сопротивления движению создается, главным образом, силой тяжести.

Для турбомеханизмов (центробежных и осевых насосов, вентиляторов и компрессоров) момент на валу механизма существенно зависит от скорости – характеристика 4.

Режимы работы ленточных конвейерных установок обусловлены задачей технологического процесса, которую они выполняют и их приближенно можно разделить на три вида:

- нерегулируемый привод (не требует особого контроля за перемещаемым грузом и в основном не автоматизирован);
- регулируемый привод (необходим для перемещения материалов, потока материалов с соблюдением определенных технологических параметров таких, как состояние материала, время, место, скорость и т.д., всегда автоматизирован);
- регулируемый высокоточный привод (необходим, когда возникает необходимость перемещения материала на четко определенные расстояния, с высокоточной остановкой, всегда автоматизирован).

Ниже приведена таблица 1.1. характеризующая три типа привода конвейеров (для примера даны характеристики двигателей мощностью 5,5 кВт).

**Таблица 1.1**

Характеристики двигателей			
Характеристики	Асинхронный двигатель питающийся от сети (разомкнутый контур )	Асинхронный двигатель управляемый от ПЧ (замкнутый контур U/f)	Синхронный двигатель (сервопривод)
1	2	3	4
Диапазон регулирования	нет	100 : 1	300(10000) : 1
Пусковой момент	2,4М <sub>н</sub>	1,3М <sub>н</sub>	3 М <sub>0</sub>
Максимальное время разгона	0,23 сек	0,45 сек	0,2 сек
Максимальное ускорение	6,7 м/сек <sup>2</sup>	3,5 м/сек <sup>2</sup>	7,45 м/сек <sup>2</sup>

Полный тормозной путь	150 мм	300 мм	125 мм
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Теоретическая точность остановки	18 мм	0,4 мм	0,05 мм
Практическая точность остановки	25 мм	3 мм	0,5 мм
Перегрузка $M/M_n$	120	300 и более	300
$t_{разг}(\%)$ при замкнутом контуре управления (синхронный 100%)	450...500	300...400	100
Принудительное охлаждение для широкого диапазона регулирования	да	да	нет
Обслуживание (двигателя)	небольшое	небольшое	небольшое
Ремонт (двигателя)	легкий	легкий	сложный
Управление большой внешней массой	хорошо	хорошо	сложно из-за малого $J_{дв}$
4-х квадрантный режим	с тормозным прерывателем/ тормозным резистором	с тормозным прерывателем/ тормозным резистором	с возвратом энергии в сеть или тормозным прерывателем/тормозным резистором

Рассмотрим работу горизонтального ленточного конвейера.

При движении горизонтального конвейера его привод должен преодолевать статическую нагрузку  $F_c$ , обусловленную силами трения в подшипниках вращающихся элементов, в местах контакта роликов и тягового органа и в самом тяговом органе при его изгибании. Эти нагрузки определяют необходимую мощность двигателя конвейерных установок, работающих с малым количеством пусков и остановок:

$$P = \kappa_3 \frac{F_c \cdot V_p}{\eta_p}, \quad (1.1)$$

где  $\kappa_3$  – коэффициент запаса, учитывающий погрешности расчёта сил сопротивления;  $V_p$  – рабочая скорость тягового органа;  $\eta_p$  – КПД редуктора привода конвейерной установки.

При пуске и торможении возникает дополнительная динамическая составляющая тягового усилия, зависящая от массы  $m$  движущихся частей и ускорения  $a$  конвейера:

$$F_o = m \cdot a, \quad (1.2)$$

$$\text{где } m = m_n + \frac{J_{ос} \cdot i_p^2 + J_o}{R_o^2};$$

$m_n$  – поступательно движущиеся массы элементов конвейерной установки;

$J_{ос}$  – момент инерции ротора двигателя;

$i_p$  – передаточное отношение редуктора привода конвейерной установки;

$J_o$  – момент инерции приводного барабана;

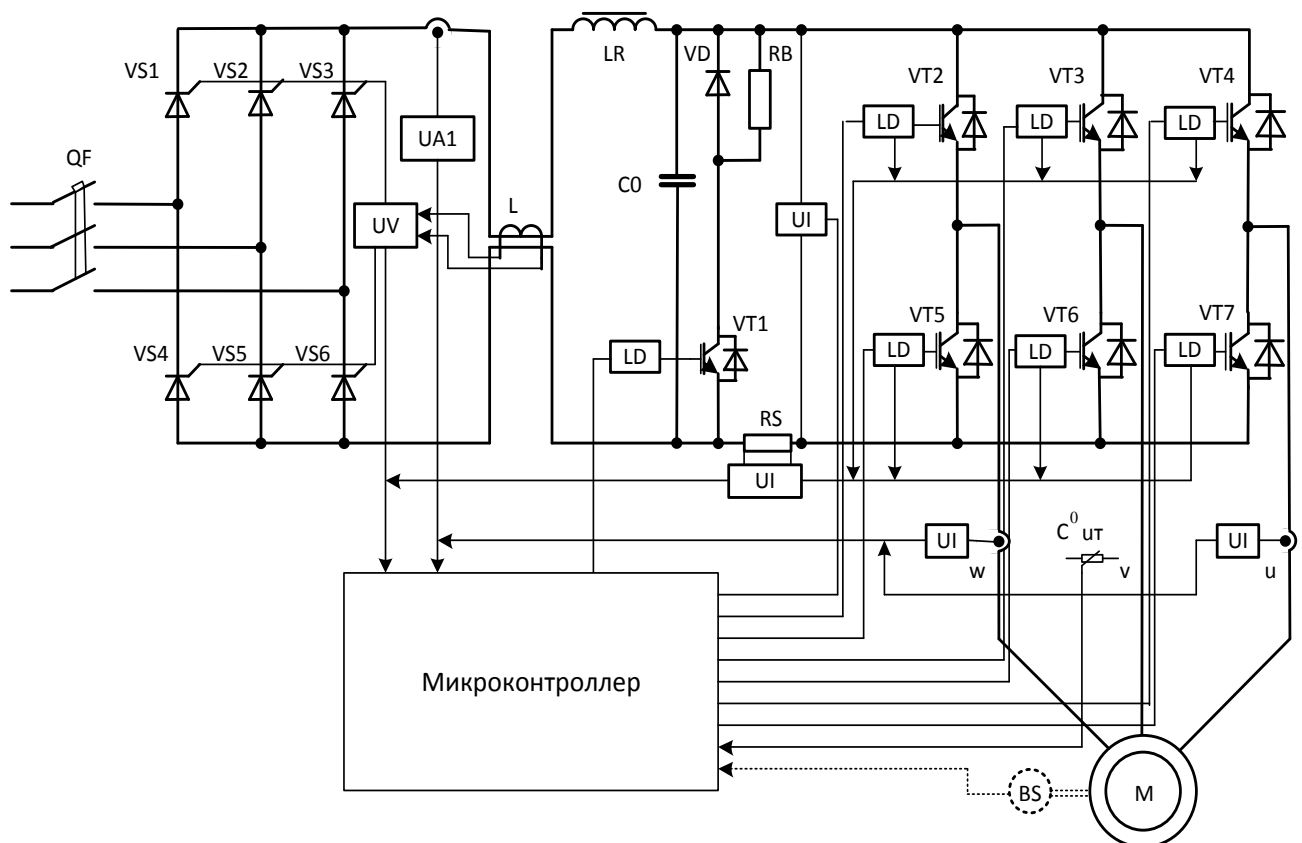
$R_o$  – радиус приводного барабана.

Полное тяговое усилие  $F = F_c + F_o$  определяет необходимую перегрузочную способность привода конвейерной установки. Максимальная перегрузочная способность привода:

$$\lambda \geq \frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}} = \frac{F}{\kappa_3 \cdot F_c}. \quad (1.3)$$

При анализе условий работы конвейера необходимо учитывать, что он представляет собой электромеханическую систему с упругим тяговым органом и распределёнными по его длине параметрами: массами перемещаемого груза и тягового органа, усилиями сопротивления движению. Это приводит к возникновению колебательных процессов в ветвях тягового органа и изменению их натяжений, что может также явиться причиной нарушения условия отсутствия проскальзывания. При этом в результате скольжения ленты по приводному барабану происходит усиленный износ тягового органа, который у ленточных конвейеров большой мощности является дорогостоящим элементом.

Применение релейно-контакторных схем и устройств плавного пуска решают вопросы обеспечения пусковых процессов конвейерных установок. Для реализации остальных требований к конвейерным установкам, таких как, регулирование скорости ленты в функции грузопотока или ограничения динамических нагрузок, требуется применение регулируемого электропривода. В современных условиях наибольшими перспективами обладают частотно-регулируемые электроприводы с асинхронными и синхронными двигателями. На рис. 1.3 представлена типовая схема низковольтного асинхронного частотно-регулируемого электропривода с автономным инвертором напряжения на базе IGBT транзисторов. Преобразователи частоты построены на основе полупроводниковой силовой электроники: интеллектуальные силовые модули (IGBT-модуль), представляющие собой конструктивное единство силовых ключей и драйверов управления ими; встроенные элементы защиты и интерфейса с микроконтроллерной системой управления.



**Рис.1.3.** Типовая схема низковольтного асинхронного частотно-регулируемого электропривода с автономным инвертором напряжения

Микроконтроллерная система осуществляет функции управления, защиты и контроля. Система управления реализует следующие основные функции:

- прямое цифровое управление всеми элементами преобразователя, включая управление силовыми ключами в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ);
- формирует модель двигателя;

- программное управление скоростью (частотой) или заданием технологической переменной в функции времени (часовые, суточные, недельные циклы);
- управление входным тиристорным преобразователем для плавного заряда конденсаторной батареи С0 в звене постоянного тока;
- управление цепью приёма энергии торможения для её рассеяния на балластном резисторе RB;
- косвенное определение ряда дополнительных параметров с помощью цифровых наблюдателей: потребляемой мощности, расхода электроэнергии, технологических процессов (расход воды, воздуха и др.);
- ввод любого числа дополнительных параметров технологического процесса с интеллектуальных датчиков, в том числе с удаленных датчиков давления и температуры.

Микропроцессорная система защиты и контроля реализует следующие основные функции:

- управляет встроенной защитой от коротких замыканий и пропадания напряжения питания драйверов;
- контролирует токи утечки и перенапряжения в звене постоянного тока;
- контролирует перегрев автономного инвертора и двигателя;
- управляет защитой от обрыва и перекоса фаз;
- управляет максимально-токовой и времятоковой защитой.

### *Описание лабораторной установки*



**Рис.1.4.** Преобразователь частоты  
OMRON



**Рис.1.5.** Ленточный транспортер

На рис.1.4. показан частотный преобразователь фирмы OMRON. Он состоит из цифрового пульта управления, в схеме управления присутствуют входы (A1, A2, V, AC), выходы (AM, FM), тумблер управления (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8), кнопки SB1, SB2, SB0 (пуск/вперед/назад), резистора R3 и сигнальных ламп MA/MC, M1/M2, M3/M4, M5/M6. На рис.1.5 показан ленточный транспортер, который состоит из электродвигателя, зубчатременной цепной передачи, датчика положения, приводного барабана, редуктора.

### *Контрольные вопросы*

1. Какую систему чаще всего применяют для регулируемых электроприводов ленточного транспортера?
2. Определить структуру потерь в электроприводах с различными электродвигателями.
3. Сколько режимов работы имеет частотный преобразователь OMRON?
4. В чем состоит основная цель кинематического расчета?
5. Что такое регулировочная характеристика электропривода?
6. Записать аналитическое выражение для расчёта к.п.д. электропривода.



## Практическая работа 2

Исследование электромеханических свойств электропривода и структуры потерь по системе устройство плавного пуска – асинхронный двигатель.

*Цель работы:* Изучение энергетических особенностей устройств плавного пуска асинхронных электродвигателей.

*Основные теоретические сведения и соотношения*

Асинхронные электрические двигатели являются наиболее часто применяемыми устройствами для привода промышленных и бытовых машин и механизмов. Это обусловлено их относительно низкой стоимостью, относительно высоким КПД, простотой конструкции и, следовательно, их надежностью.

Основные проблемы, возникающие при эксплуатации таких двигателей, сводятся к невозможности согласования создаваемого ими момента с моментом нагрузки, как во время пуска, так и во время работы, а также высокий пусковой ток.

Во время пуска крутящий момент обычно достигает 150-200% от номинального значения. Он ускоряет нагрузку до достижения полной скорости вращения за доли секунды, что может привести к выходу из строя кинематической цепи привода. В то же самое время пусковой ток может быть в 8-10 раз больше номинального, порождая проблемы со стабильностью питания и повышенным износом электрической части оборудования.

Когда двигатель работает с пониженной нагрузкой, его КПД падает вследствие того, что создаваемый магнитный поток слишком велик по отношению к магнитному потоку, достаточному для создания вращающего момента, необходимого для преодоления момента нагрузки.

Типичный трехфазный асинхронный электродвигатель, работающий с полной нагрузкой, обладает относительно высоким КПД, достигающим 80-96%. Однако, как показано на рис. 2.1, КПД двигателя резко падает, если нагрузка снижается. Падение КПД особенно ощутимо, когда нагрузка снижается до значений менее 50% от номинальной. В действительности электродвигатели довольно редко работают на полную мощность. Подавляющее большинство двигателей работают с нагрузкой, значительно ниже номинальной вследствие того, что при проектировании электропривода они были выбраны с так называемым «конструктивным запасом», а так же из-за естественных колебаний нагрузки в условиях конкретного технологического процесса.

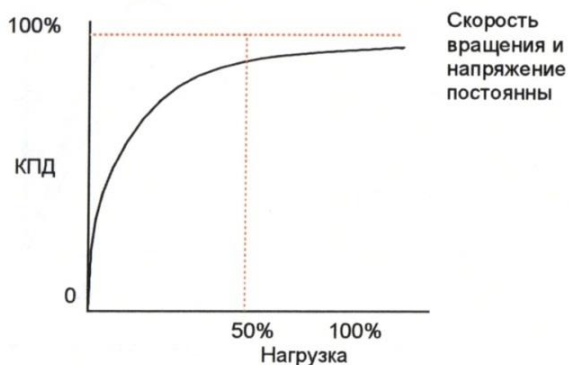


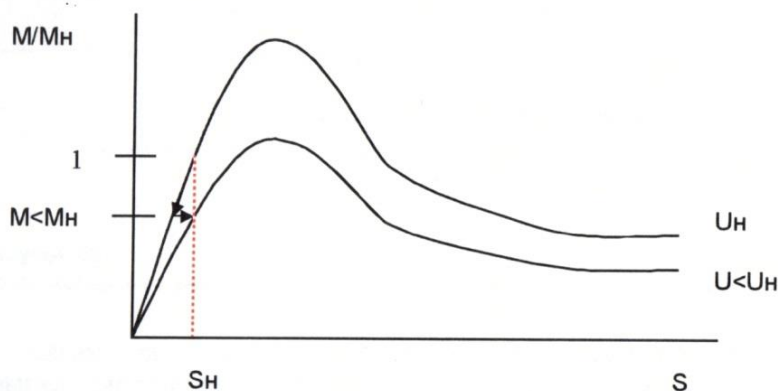
Рис. 2.1. КПД асинхронного двигателя

В тех случаях, когда есть возможность менять скорость вращения двигателя, проблема может быть решена посредством частотных преобразователей, обеспечивающих такую скорость вращения двигателя, которая необходима и достаточна для выполнения работы в каждый конкретный момент времени.

В тех случаях, когда нет возможности или необходимости изменять скорость вращения двигателя, оборудование ЭнерджиСейвер позволяет экономить электроэнергию, потребляемую двигателями при их работе на пониженных нагрузках.

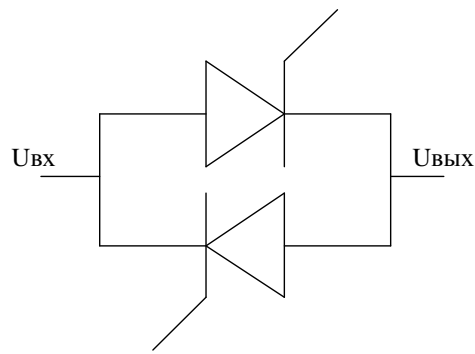
Устройства плавного пуска по окончании программы разгона сохраняют полную электропроводность, вследствие чего двигатель ведет себя так же, как если бы он был подключен на прямую к питающей сети, либо шунтируются контакторами, коммутирующими электродвигатель напрямую к питающей сети для избежания потерь электроэнергии на внутреннем сопротивлении полупроводниковых переходов открытых тириستоров. Однако при пониженных нагрузках и полной подаче напряжения асинхронные электродвигатели всегда получают избыточный ток намагничивания, расходующийся, в том числе на перемагничивание созданного им же в предыдущий момент времени избыточного магнитного поля. Путем непрерывного контроля нагрузки и изменения напряжения на контактах двигателя по определенному алгоритму, ЭнерджиСейвер экономит часть энергии возбуждения и снижает потери (пропорциональные квадрату тока, который снижается при понижении напряжения), а также улучшает коэффициент мощности в тех случаях, когда электродвигатель используется неэффективно с пониженной нагрузкой.

В чем физический смысл подобных манипуляций? Момент, создаваемый двигателем, зависит как от приложенного напряжения, так и от скольжения (показатель «запаздывания» вращения ротора относительно поля статора). Чем меньший момент нагрузки приложен к ротору, тем больше ротор «догоняет» поле статора (скольжение уменьшается), тем дальше двигатель переходит в менее экономичный режим. Если соответствующим образом снизить напряжение питания, подаваемое на двигатель, скольжение вернется к номинальному значению. Рис. 2.2 иллюстрирует описанный процесс на примере механических характеристик двигателя при различных значениях напряжения, приложенного к обмоткам. При этом снизятся ток, протекающий через обмотки двигателя, и потребляемая мощность, пропорциональная произведению напряжения и тока, потери уменьшатся, КПД двигателя возрастет.

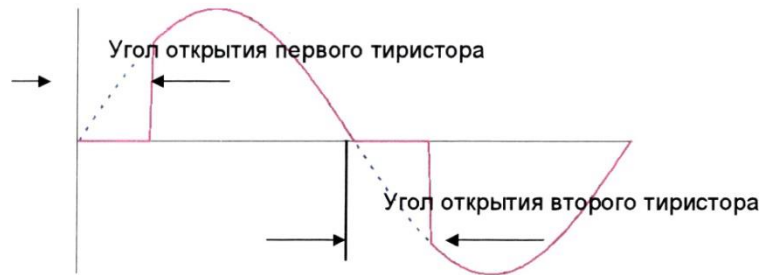


**Рис. 2.2.** Механические характеристики двигателя при различных напряжениях питания

Каким образом ЭнерджиСейвер снижает напряжение? ЭнерджиСейвер использует традиционную для устройств плавного пуска схему встречно-параллельно включенных тиристоров (рис. 2.3). Тиристор — электронный прибор, представляющий собой управляемый диод. Он открывается при подаче управляющего импульса и закрывается при переходе проходящего через него тока через ноль. Открывая тиристор с большей или меньшей задержкой по времени, возможно «вырезать» соответствующую часть синусоиды питающего напряжения (рис. 2.4). Таким образом, среднее напряжение на выходе устройства будет меняться пропорционально изменению времени задержки открытия тиристора. Поскольку подобный принцип регулирования напряжения предполагает что в те интервалы времени, когда тиристоры остаются закрытыми, ток через обмотки двигателя не протекает, отбора мощности из питающей сети в эти моменты не происходит. Ротор двигателя в эти интервалы времени вращается по инерции.

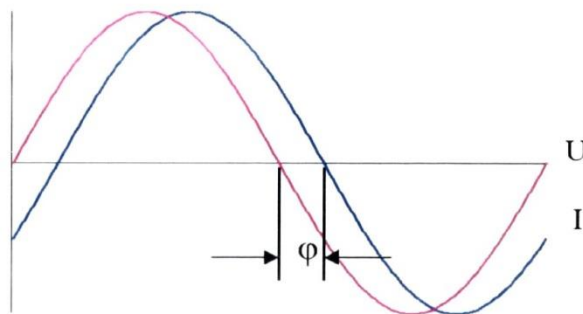


**Рис. 2.3.** Встречно-параллельно включенные тиристоры



**Рис. 2.4.** Напряжение на выходе встречно-параллельнотиристорной пары

Каким образом осуществляется определение требуемого момента открытия тириستоров? Обмотки двигателя представляют собой активно-индуктивную нагрузку. Активная часть сопротивления зависит только от температуры обмотки. Реактивное (индуктивное) сопротивление зависит от момента нагрузки, приложенного к ротору двигателя. Его величина тем больше, чем меньший момент нагрузки приложен. Величина реактивного сопротивления влияет на фазовый сдвиг между напряжением и током в цепи (рис. 2.5). Таким образом, измеряя фазовый сдвиг, возможно однозначно судить о величине нагрузки по отношению к номинальной. Снижение напряжения соответственно уменьшению величины нагрузки приводит к уменьшению индуктивной части сопротивления. Вследствие этого, помимо уже упомянутого снижения потребления активной мощности при понижении напряжения, снижение активной части тока уменьшает потери, равные произведению квадрата тока на активное сопротивление обмоток. Поскольку реактивный ток, как и активный, греет проводники, его снижение так же приводит к уменьшению активного сопротивления обмоток двигателя, что обеспечивает дополнительную экономию энергии, выделявшейся в виде тепла. Кроме того, уменьшение реактивной части сопротивления снижает отрицательное влияние реактивной нагрузки на питающую сеть, уменьшая фазовый сдвиг между током и напряжением, а так же потребляемую реактивную мощность.



**Рис. 2.5.** Фазовый сдвиг между напряжением и током

Применение УПП является экономичным решением, позволяющим уменьшить стоимость эксплуатации механизмов путем снижения механических воздействий и улучшения эксплуатационной готовности оборудования, а также уменьшить влияние пуска двигателей на электрическую сеть за счет ограничения бросков тока и провалов напряжения в сети.

Благодаря своей универсальности устройства плавного пуска асинхронных двигателей получили широкое распространение и применяются повсеместно в самых разных промышленных системах. В частности, УПП используются в таком оборудовании, как:

- ленточные конвейеры;
- холодильное оборудование;
- компрессорные установки;
- системы вентиляции;
- лифтовое оборудование;
- насосные станции;
- промышленные станки.

#### *Контрольные вопросы*

1. Каковы предельные значения момента, токов статора и ротора, скорости двигателя лабораторной установки?
2. Оценить энергоэффективность двигателя при питании от преобразователя ЭнерджиСейверES7.5Мполучается плавным?
3. Какой параметр двигателя поддерживается постоянным для обеспечения мягкого пуска?
4. Как изменяется в процессе пуска напряжение на статоре двигателя?
5. Как изменяется в процессе пуска ток статора двигателя?
6. Как изменяются в процессе пуска момент двигателя?
7. Как изменяется в процессе пуска скорость двигателя?
8. Как связаны между собой момент двигателя и напряжение на статоре?
9. Как связаны между собой момент двигателя и ток статора?
10. Укажите достоинства системы УПП – АД по сравнению с прямым пуском.

### **Критерии оценки практических занятий**

В 1 семестре обучающийся выполняет 2 практические работы.

**Максимальный балл за практические работы составляет 18, минимальный балл –12:**

- **практическая работа 1 – max 9 баллов; min – 6 баллов;**
- **практическая работа 2 – max 9 баллов; min – 6 баллов.**

Итоговый рейтинг по практическим занятиям проставляется как среднее арифметическое полученных баллов за выполнение 2 практических работ.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет: информационных технологий*

*Кафедра: электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование)

Профиль/программа: «Инновационные технологии в электрохозяйстве нефтехимических предприятий»  
(наименование)

**Темы коллоквиума**  
**для очного и очно-заочного отделений**  
по дисциплине «Методы энергосбережения на нефтехимических  
предприятиях»

**Темы 1 раздела:**

1. Структура организационных аспектов энергосбережения.
2. Структура технических аспектов энергосбережения.
3. Структура информационных аспектов энергосбережения.
4. Виды энергобалансов.

**Темы 2 раздела:**

1. Экономические предпосылки формирования потенциала энергосбережения.
2. Экология и энергосбережение.
3. Зарубежные показатели энергосбережения.
4. Основные технические предпосылки энергосбережения.

**Темы 3 раздела:**

1. Основные нормативные акты федеральной базы энергосбережения.
2. Региональная нормативная база энергосбережения.
3. Муниципальная нормативная база энергосбережения.
4. Производственно-техническая нормативная база энергосбережения.

**Темы 4 раздела:**

1. Технически обоснованные потери.
2. Постоянная составляющая потерь.
3. Структура переменных потерь.
4. Понятия коммерческих потерь.

**Темы 5 раздела:**

1. Энергосбережение в технологических электроприводах.

2. Энергосбережение в силовых трансформаторах.
3. Энергосбережение в системах искусственного освещения.
4. Энергосбережение и компенсация реактивной мощности.

*Максимальный балл за коллоквиум составляет 16, минимальный балл 8. Из них:*

- Самостоятельность работы над проектом – max 2 балла, min 1 балла;*
- Актуальность и значимость темы – max 3 балла, min 1 балла.*
- Полнота раскрытия темы – max 2 балла, min 1 балла;*
- Оригинальность решения проблемы – max 3 балла, min 2 балла;*
- Артистизм и выразительность выступления – max 2 балла, min 1 балла;*
- Использование средств наглядности, технических средств – max 2 балла, min 1 балла;*
- Ответы на вопросы – max 2 балла, min 1 балла.*

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет: информационных технологий*

*Кафедра: электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование)

Профиль/программа: «Инновационные технологии в электрохозяйстве нефтехимических предприятий»  
(наименование)

Семестр 1

**Вопросы к экзамену**  
**для очного и очно-заочного отделений**  
по дисциплине «Методы энергосбережения на нефтехимических предприятиях»

1. Три уровня реализации энергетической политики РФ.
2. Основные положения ФЗ №261 от 23.11.09г.
3. Сравнительный анализ величин энергозатрат на единицу выпускаемой продукции за рубежом и РФ.
4. Основные цели энергетической стратегии РФ на период до 2030 ода, - внутренние и внешние вызовы.
5. Основные положения Госпрограммы энергосбережения до 2020 года.
6. Общие понятия о процедуре энергообследования: обязательного и добровольного.
7. Нормативно-правовая база энергосбережения, - три уровня.
8. Назначение и роль энергопаспорта в процессе обследования энергослужб НХП.
9. Понятие о потенциале энергосбережения в РФ на современном этапе, численные характеристики по отраслям.
10. Общие понятия о принципах построения систем учета электроэнергии в НХП: топология, структура, приборное оснащение, техническая и коммерческая реализация.
11. ГКРФ: особенности заключения публичного договора электроснабжения в условиях рыночных отношений установленной, заявленной, максимальной (утренний – вечерний максимум).
12. Структура потерь во внутризаводских сетях электроснабжения и предельный норматив до 2020года.
13. ФЗ №35: Понятие о субъектах электроэнергетике РФ.
14. Основные положения кодированной программы «Методическое и кадровое обеспечение мероприятий по энергосбережению».
15. Основные положения кодированной программы « Энергосбережение в электро-



сетевом хозяйстве РФ».

16. ФЗ №35: особенности функционирования оптового и различного рынка РФ.

17. Основные положения кодировки «Энергосбережения в промышленности РФ».

18. Понятие о госрегулировании процесса энергосбережения.

19. ФЗ №261: Основные понятия государственного регулирования вопросов энергосбережения в промышленном производстве, - три уровня полномочий.

20. Организационные, правовые, технические, технологические и экономические мероприятия энергосберегающих программ.

21. Потери в сетях внутризаводского электроснабжения не зависящие от нагрузки.

22. Назначение, структура и привязка к уровням напряжения балансов во внутризаводских сетях электроснабжения.

23. Энергосбережения и технологии Smartgrid.

24. Регулируемый технологический электропривод НХП, - основное направление энергосбережения.

25. Основные технические энергосберегающие мероприятия во внутризаводских сетях НХП, - беззатратные, малозатратные, инвестиционные.

26. Обучение электротехнического персонала и энергосбережение в электроустановках.

27. Особенности реализации технических и технологических мероприятий и электроустановках НХП с высоковольтным синхронными электроприводами.

28. Повышение энергоэффективности путем внедрения инновационного энергосберегающего оборудования.

29. Методики энергосбережения в нерегулируемых электроприводах НХП.

30. Изменение частоты вращения рабочего колеса, - энергоэффективный метод гармонизации насосного технологического комплекса.

***Максимальный балл за зачет с оценкой составляет 40, минимальный балл – 24.***