

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный  
аграрный университет»

Богатырев Н.И., Оськин С.В.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ  
МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ  
БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ**

Методические рекомендации

Краснодар – 2014

УДК 378.147

ББК 74.58

Б732

**Рецензенты:**

**В.С. Газалов** – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетика» (Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ в г. Зернограде);

**Г.В. Никитенко** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве» (Ставропольский ГАУ).

**Богатырев Н.И.**

**Б732** Использование интерактивных методов обучения при подготовке бакалавров и магистров / Н.И. Богатырев, С.В. Оськин – Краснодар, 2014. – 128 с. ил.

ISBN 978-5-94672-826-3

Методические рекомендации содержат описание используемых при реализации компетентностного подхода в образовательном процессе активных и интерактивных методов обучения, технологию и приемы по их практическому применению в структуре проведения занятия при внедрении ФГОС третьего поколения по направлению подготовки «Агроинженерия».

Рассмотрены наиболее востребованные интерактивные методы для проведения различных видов занятий (дискуссии, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, кейсы, семинары, групповые дискуссии и др.).

© Н.И. Богатырев, С.В. Оськин, 2014

© Кубанский государственный аграрный университет, 2014

ISBN 978-5-94672-826-3

## **СОДЕРЖАНИЕ**

	<b>ВЕДЕНИЕ</b>	<b>5</b>
1	<b>ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b>	<b>6</b>
2	<b>МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ</b>	<b>7</b>
2.1	<i>Пассивный метод</i>	<b>8</b>
2.2	<i>Активный метод</i>	<b>8</b>
2.3	<i>Интерактивный метод</i>	<b>9</b>
2.4	<i>Технические системы анализа учебного процесса</i>	<b>11</b>
2.5	<i>Основные требования к организации и проведению интерактивных занятий</i>	<b>15</b>
2.5	<i>Виды интерактивных методов обучения</i>	<b>15</b>
2.5.1	<i>Интерактивная лекция</i>	<b>15</b>
2.5.2	<i>Творческое задание</i>	<b>16</b>
2.5.3	<i>Публичная презентация</i>	<b>16</b>
2.5.4	<i>Анализ конкретных ситуаций (кейс-метод)</i>	<b>16</b>
2.5.5	<i>Обсуждение в группах</i>	<b>17</b>
2.5.6	<i>Дискуссия</i>	<b>17</b>
2.5.7	<i>Методика «Круглый стол»</i>	<b>19</b>
2.5.8	<i>Методика «Мозговой штурм»</i>	<b>19</b>
2.5.9	<i>Кооперативное обучение</i>	<b>20</b>
2.5.10	<i>Разработка проекта</i>	<b>21</b>
2.5.11	<i>Коллоквиум</i>	<b>22</b>
2.5.12	<i>Тренинг</i>	<b>22</b>
2.5.13	<i>Деловая игра</i>	<b>23</b>
2.5.14	<i>Ролевая игра</i>	<b>24</b>
2.5.15	<i>Семинары</i>	<b>25</b>
3	<b>АКТИВНЫЕ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ. ТЕСТИРОВАНИЕ</b>	<b>27</b>
4	<b>ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В ИНТЕРАКТИВНОЙ ФОРМЕ</b>	<b>33</b>
4.1	<i>Пример проведения семинара на тему: «Применение электромагнитных волн в производстве»</i>	<b>33</b>
4.2	<i>Пример проведения семинара на тему: «Частотный диапазон электромеханических преобразователей энергии»</i>	<b>39</b>
4.3	<i>Пример проведения занятия в интерактивной форме на тему: «Выбор защиты электродвигателей от перегрева изоляции обмоток»</i>	<b>55</b>

4.4	<i>Пример проведения семинара на тему: «Современные системы и элементы энергоэффективного электропривода»</i>	<b>54</b>
4.5	<i>Пример проведения методики «мозговой штурм» создания стенда для исследования и испытания электроприводов</i>	<b>64</b>
5	<b>ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»</b>	<b>81</b>
5.1	<i>Пример выполнения схемы автоматизации линии предварительной обработки зерна</i>	<b>87</b>
6	<b>ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД»</b>	<b>94</b>
7	<b>ИНТЕРАКТИВНАЯ ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИОННОГО ЗАНЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ЛЕКЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «СХЕМОТЕХНИКА С.-Х. УСТАНОВОК»</b>	<b>103</b>
8	<b>ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «АСУ ТП»</b>	<b>108</b>
8.1	<i>Пример создания проекта для моделирования системы управления тепловой пушкой</i>	<b>117</b>
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>120</b>
	<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>121</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) предполагают целенаправленное внедрение в образовательный процесс методов и технологий, реализующих компетентностный подход. Внедрение интерактивных форм обучения - одно из обязательных требований ФГОС ВПО в реализации компетентностного подхода. Интерактивные формы обучения - организация учебного процесса, основанная на диалоговых формах взаимодействия участников образовательного процесса.

Проблема активности студентов, особенно технических специальностей, является одной из актуальных в образовательной практике. Известно, что человек запоминает только 10% того, что он читает, 20% того, что слышит, 30% того, что видит, 50...70% запоминается при участии в групповых дискуссиях, 80% – при самостоятельном обнаружении и формулировании проблемы. И лишь когда обучающийся непосредственно участвует в реальной деятельности, в самостоятельной постановке проблем, выработке и принятии решения, формулировке выводов и прогнозов, он запоминает и усваивает материал на 90%.

Стратегическим направлением активизации обучения является не увеличение объема передаваемой информации, не усиление и увеличение числа контрольных мероприятий, а создание дидактических и психологических условий осмысленного учения, включения в него студента на уровне не только интеллектуальной, но личностной и социальной активности.

Активное обучение предполагает использование такой системы методов, которая направлена главным образом не на изложение преподавателем готовых знаний, их запоминание и воспроизведение, а на самостоятельное овладение учащимися знаниями и умениями в процессе активной мыслительной и практической деятельности.

Интерактивные формы предполагают обучение в сотрудничестве. Все участники образовательного процесса (преподаватель и студенты) взаимодействуют друг с другом, обмениваются информацией, совместно решают проблемы, моделируют ситуации.

Активные и интерактивные формы могут быть использованы при проведении семинарских, лабораторных и практических занятий.

## **1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**Компетенции** – область знаний, круг вопросов, в которых кто-либо хорошо осведомлен; совокупность взаимосвязанных качеств личности (знаний, умений, навыков, способов деятельности), задаваемых по отношению к определенному кругу предметов и процессов и необходимых, чтобы качественно продуктивно действовать по отношению к ним.

**Понятие компетенции в образовательном пространстве** включает, как минимум, три важнейшие составляющие:

– знание как понимание (теоретическое знание академической области, способность знать и понимать) – когнитивный компонент компетенции;

– знание как действовать (практическое и оперативное применение знаний к конкретным ситуациям) – операциональный компонент компетенции;

– знание как быть (ценности как неотъемлемая часть способа восприятия и жизни с другими в социальном контексте, то есть воспитание) – аксиологический компонент компетенции.

Сегодня в публикациях, посвященных новым ФГОС ВПО и компетентностному подходу, понятие компетенции постоянно соседствует с понятием компетентности. Под компетенцией понимают некоторое отчужденное, наперед заданное требование к образовательной подготовке студента, а под компетентностью – уже состоявшееся его личностное качество. Другими словами, компетентность есть уровень практической реализации компетенции.

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования применяет следующие сокращения:

**ВПО** – высшее профессиональное образование;

**ООП** – основная образовательная программа;

**ОК** – общекультурные компетенции;

**ПК** – профессиональные компетенции.

## 2 МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ

Одним из факторов, существенно влияющих на ход и результат учебно- воспитательного процесса в любом учебном заведении, являются методы обучения. Правильно выбранные методы способны плодотворно влиять на этот процесс, ошибки или невнимательность преподавателя к данному вопросу снижают эффективность обучения, профессиональной подготовки студентов. Именно поэтому внимание преподавателей и ученых к проблеме методов обучения, которые составляют самостоятельный раздел дидактики, всегда было велико.

Имеется значительное количество мнений, в которых понятие «метод обучения» различными учеными трактуется неоднозначно. Первоначально метод обучения воспринимался упрощенно и означал способ изложения. По мере развития образовательной практики и педагогической науки отношение к данной категории изменилось, на нее стали возлагать большие надежды. Однако несмотря на диалектическую сущность этой категории, она изменяется и переосмысливается гораздо медленнее, чем другие педагогические понятия.

Метод (от греч. *metodos* – исследование, путь продвижения к истине) – способ работы учителя и ученика, при помощи которого достигается овладение знаниями, умениями, навыкам, формируется мировоззрение учащихся, развиваются их способности.

Длительное время в педагогике господствовал подход, в основе которого лежал источник знаний. Все методы обучения подразделялись на три группы: словесные (рассказ, объяснение, беседа, лекция, работа с учебником); наглядные (иллюстрация, демонстрация, экскурсия на производство, наблюдение); практические (семинары, лабораторные работы, практикумы).

По нашему мнению, метод обучения – процесс взаимодействия между преподавателем и студентами, в результате которого происходит передача и усвоение знаний, умений и навыков, предусмотренных содержанием обучения. Приём обучения (обучающий приём) – кратковременное взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на передачу и усвоение конкретного знания, умения, навыка.

С первых дней существования обучения и до сегодняшнего дня сложились, утвердились и, в общем, получили широкое распространение три формы взаимодействия преподавателя и студента. Для наглядности представим их нижеследующими схемами (рис. 2.1-2.3).

Из данных схем видно, что методы обучения можно подразделить на три обобщенные группы:

1. пассивные методы;
2. активные методы;
3. интерактивные методы.

### **2.1 Пассивный метод**

*Пассивный метод* – это форма взаимодействия преподавателя и студента, в котором преподаватель является основным действующим лицом, управляющим ходом занятия, а студенты выступают в роли пассивных слушателей, подчиненных директивам преподавателя (рис. 2.1). Связь преподавателя и студента в пассивных занятиях осуществляется посредством опросов, самостоятельных и контрольных работ, тестов и т. д. С точки зрения современных педагогических технологий и эффективности усвоения студентами учебного материала пассивный метод считается самым неэффективным, но, несмотря на это, он имеет и некоторые плюсы. Это относительно легкая подготовка к уроку со стороны преподавателя и возможность преподнести сравнительно большее количество учебного материала в ограниченных временных рамках урока. Надо сказать, что в некоторых случаях этот подход успешно работает в руках опытного педагога, особенно если студенты имеют четкие цели, направленные на основательное изучение предмета. Лекция – самый распространенный вид пассивного урока. Этот вид занятий широко распространен в ВУЗах, где учатся взрослые, вполне сформировавшиеся люди, имеющие четкие цели глубоко изучать предмет.

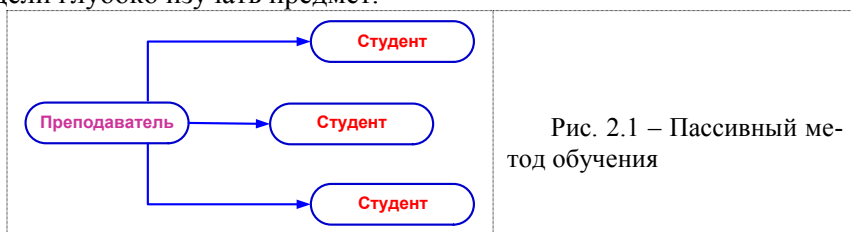


Рис. 2.1 – Пассивный метод обучения

### **2.2 Активный метод**

*Активный метод* – это форма взаимодействия преподавателя и студентов, в котором преподаватель и студенты взаимодействуют друг с другом в ходе занятий и студенты здесь не пассивные слушатели, а активные участники занятий (рис. 2.2). Если в пассивном занятии основным действующим лицом и менеджером занятия был



преподаватель, то здесь преподаватель и студенты находятся на равных правах. Если пассивные методы предполагали авторитарный стиль взаимодействия, то активные больше предполагают демократический стиль. Многие между активными и интерактивными методами ставят знак равенства, однако, несмотря на общность, они имеют различия. Интерактивные методы можно рассматривать как наиболее современную форму активных методов.

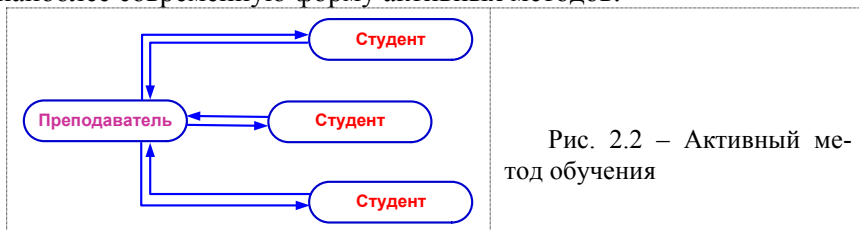


Рис. 2.2 – Активный метод обучения

### 2.3 Интерактивный метод

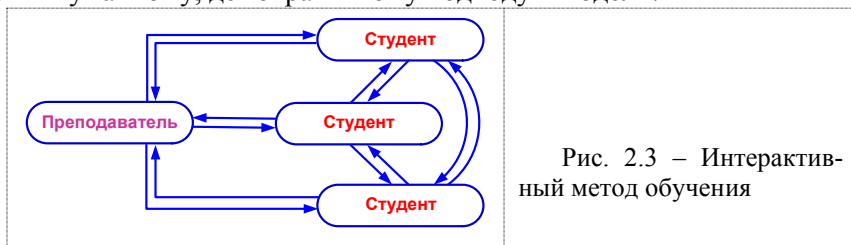
Интерактивные методы (рис. 2.3) было бы более правильно представить как подвид активных методов. Однако они здесь сознательно выделены в отдельный вид, чтобы подчеркнуть их особую роль в образовании.

*Интерактивный метод* – это принцип организации системы, при которой цель достигается информационным обменом элементов этой системы. Интерактивный («Inter» - взаимный, «act» - действовать) – означает взаимодействовать, находиться в режиме беседы, диалога с кем-либо. Другими словами, в отличие от активных методов, интерактивные ориентированы на более широкое взаимодействие студентов не только с преподавателем, но и друг с другом, и на доминирование активности студентов в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности студентов на достижение целей урока. Преподаватель также разрабатывает план занятия (обычно это интерактивные упражнения и задания, в ходе выполнения которых студент изучает материал).

Следовательно, основными составляющими интерактивных занятий являются интерактивные упражнения и задания, которые выполняются студентами. Важное отличие интерактивных заданий от обычных, в том, что выполняя их, студент не только и не столько закрепляют уже изученный материал, сколько изучают новый.

Использование интерактивной модели обучения предусматривает моделирование жизненных ситуаций, использование ролевых

игр, совместное решение проблем. Исключается доминирование какого-либо участника учебного процесса или какой-либо идеи. Это учит гуманному, демократичному подходу к модели.



Другими словами, интерактивное обучение - это, прежде всего, диалоговое обучение, в ходе которого осуществляется взаимодействие между студентом и преподавателем и самими студентами.

Задачами интерактивных форм обучения являются:

- пробуждение у студентов интереса к знаниям;
- эффективное усвоение учебного материала;
- самостоятельный поиск студентами путей и вариантов решения поставленной учебной задачи (выбор одного из предложенных вариантов или нахождение собственного варианта и обоснование решения);
- установление взаимодействия между студентами, обучение работать в команде, проявлять терпимость к любой точке зрения, уважать право каждого на свободу слова, уважать его достоинства;
- формирование у студентов мнения и отношения к дисциплине;
- формирование жизненных и профессиональных навыков;
- выход на уровень осознанной компетентности студента.

К формам работы, повышающим уровень активности обучения можно отнести следующие:

- применение нетрадиционных форм проведения учебных занятий (занятие- деловая игра, занятие- соревнование, занятие- семинар, занятие- экскурсия, интегрированное занятие и др.);
- использование нетрадиционных форм учебных занятий (интегрированные занятия, объединенные единой темой, проблемой; комбинированные, проектные занятия, творческие мастерские и др.);
- использование игровых форм;
- диалогическое взаимодействие;
- проблемно- задачный подход (проблемные вопросы, проблемные ситуации и др.);

- использование различных форм работы (групповые, бригадные, парные, индивидуальные, фронтальные и др.);
- интерактивные методы обучения (репродуктивный, частично поисковый, творческий и др.).

Использование дидактических средств (тесты, терминологические кроссворды и др.).

Цель интерактивных форм обучения – реализация компетентного подхода в образовании. Интерактивные формы проведения учебных занятий предполагают обучение, при котором все участники образовательного процесса (преподаватель и студенты) взаимодействуют друг с другом, в диалоге обмениваются информацией, совместно решают проблемы и задачи, моделируют ситуации и т.п.

Интерактивные формы проведения занятий могут быть использованы при проведении лекций, практических, семинаров и лабораторных занятий; применяются на всех уровнях подготовки.

#### 2.4 Технические системы анализа учебного процесса

Практика показывает, что все больше методов идентификации технических систем успешно применяются для анализа социально-экономических объектов. Внедрение системы менеджмента качества (СМК) показывает низкую эффективность управления качеством образования выпускников. Одной из причин сложившейся ситуации является бессистемность подхода к этому процессу и отсутствие математического или иного аппарата, описывающего взаимосвязи в такой системе. Таким аппаратом может стать теория автоматического регулирования (ТАР), которая хорошо апробирована для различных технических и технологических систем. Представим схему обучения студентов в виде, приведенном на рисунке 2.4.

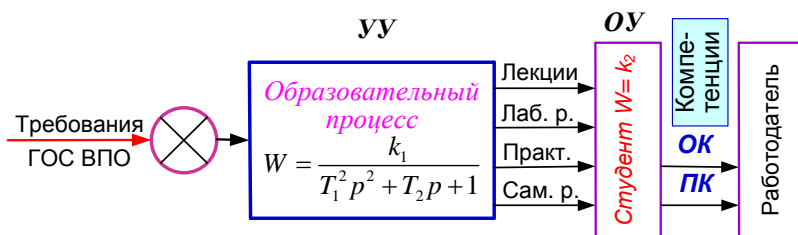


Рис. 2.4 – Структурная схема обучения студентов

Процесс управления выглядит следующим образом. На образовательный процесс воздействуют требования ГОС ВПО, и данный

процесс вырабатывает соответствующие сигналы управления на студента (в виде лекций, лабораторных и практических занятий, в том числе практик на производстве, организации самостоятельной работы). Студент на основе этих воздействий на выходе получает компетенции – общекультурные (ОК) и профессиональные (ПК). Полученные компетенции оцениваются работодателем. С точки зрения теории автоматического регулирования здесь можно наблюдать объект управления (ОУ) – студент и управляющее устройство (УУ) – образовательный процесс. Данная система, до недавнего времени, была без обратной связи. Управляющее устройство как элемент автоматики следует рассматривать как апериодическое звено второго порядка с передаточной функцией вида  $W = \frac{k_1}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}$ .

Объект управления следует рассматривать как пропорциональное звено с передаточной функцией, равной коэффициенту  $k_2$ . При воздействии на него учебным процессом множеством дисциплин, «идеальный» студент будет иметь значение  $k_2=1$ . Соответственно, если студент частично не усваивает знания, то  $k_2 < 1$ .

На рисунке 2.4 мы видим схему управления без обратной связи. Вид выходного сигнала такой системы изображен на рисунке 2.5.

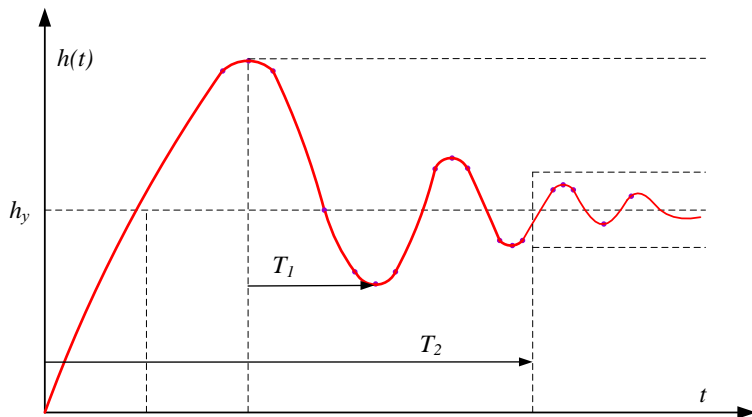


Рис. 2.5 – Вид выходного сигнала системы управления без обратной связи

На данном рисунке указан период автоколебаний системы  $T_1$  и период затухания колебаний  $T_2$ . Для нашей системы период затухания может находиться в диапазоне от 10 до 15 лет, а период автоколебаний – от 1 до 5 лет. В связи с этим, все раннее вводимые изменения

в ГОС ВПО не приводили к особым изменениям в установившийся процесс, что связано с большими постоянными времени (сигнал практически демпфировался системой). Однако введение стандартов второго и третьего поколения в устойчивом режиме уже приводят к возникновению следующего переходного процесса. Теперь обозначим место СМК в существующей системе (рис. 2.6). Получая информацию от работодателей через анкетирование и от студентов через тестирование и другие формы оценочных средств, блок СМК вносит коррекцию в систему.

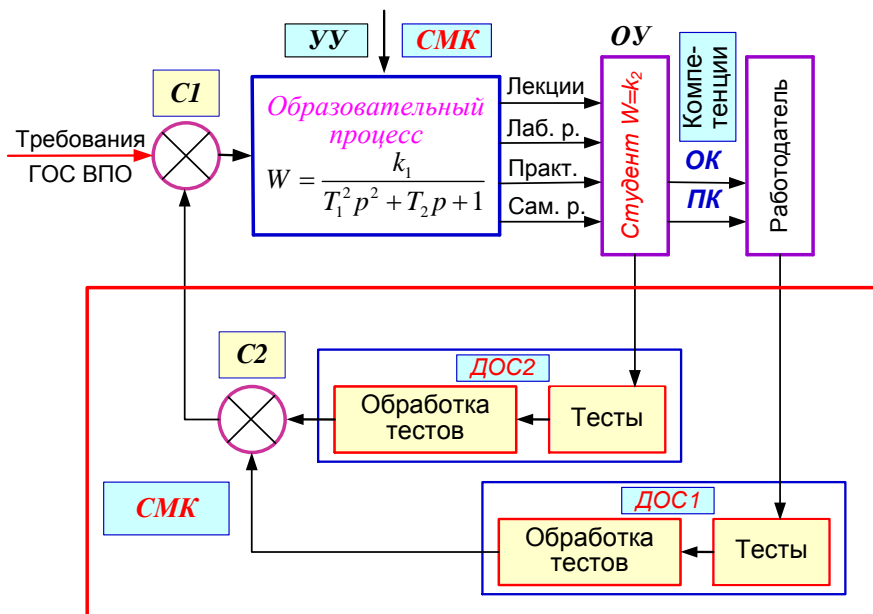


Рис. 2.6 – Автоматизированная система управления качеством с СМК

В соответствии с принципами системного подхода при анализе качества АСУ необходимо идти против направления воздействия, т.е. от работодателя (рис. 2.6). Таким образом, работодатель выдвигает требования к выпускнику в виде компетенций (ОК, ПК), а студент, в свою очередь выдвигает требования к образовательному процессу: первокурсник имеет какую-то базу знаний, на которую можно «наращивать» следующую информацию; оптимизированное рабочее время; не должно быть перегрузок недельных и дневных; современная материальная и безопасная лабораторная база; доступное методическое обеспечение; высокая квалификация преподавателей; воз-

возможность для культурного развития личности; возможности для реализации творческих способностей, возможность проживания в общечеловеческой среде.

После обработки тестов и анкет, используя современные методы интерактивного обучения, то есть, отфильтровав сигналы помехи, система может быть скорректирована на уменьшение времени переходных процессов, так как работодатель не может так долго ждать квалифицированного выпускника. В теории автоматизации известно, что для повышения устойчивости необходимо вводить промежуточные корректирующие обратные связи и дифференцирующие звенья. Это можно представить в виде развернутой структурной схемы (рис. 2.7).

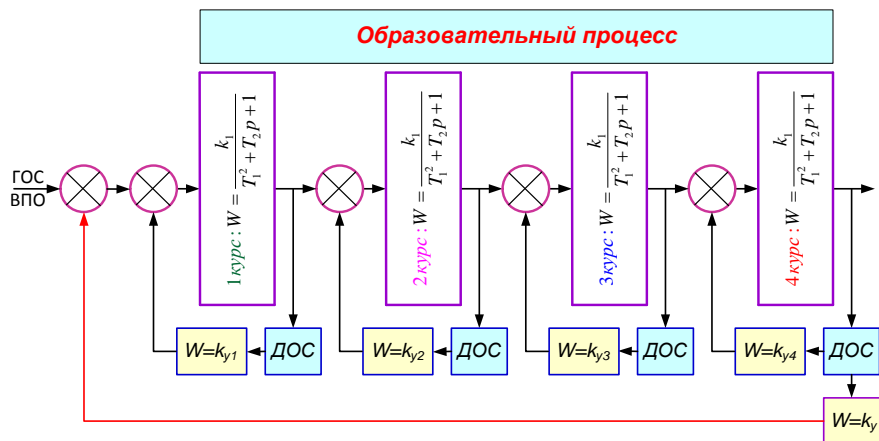


Рис. 2.7 – Развернутая автоматизированная система управления качеством образовательного процесса

В соответствии с последней схемой, можно предложить более конкретные следующие способы повышения устойчивости и сокращения времени переходных процессов.

1. Повысить точность отслеживания сигналов путем разработки адекватных анкет, тестов и других видов оценочных средств с последующей статистической обработкой данных.

2. Введение в обратные связи пропорциональных блоков. На основе обработки тестов после каждого курса вводить дополнительные дисциплины путем замены предметов в курсах по выбору, например, если после первого курса обнаружены пониженные знания по математике и физике – заменить дисциплины по выбору на дополнительные занятия по «проваленным» предметам. В рабочих учеб-

ных планах в каждом году обучения должно быть не менее 4-х дисциплин по выбору. Блок по выбору должен стать как раз корректирующим пропорциональным звеном.

3. Введение дифференцирующих блоков. Например, введение модульного обучения, особенно, по дисциплинам, имеющим малое количество часов в семестре (2 час. в неделю). Проводить промежуточную сессию по таким дисциплинам в середине семестра.

4. Широко вводить и постоянно модернизировать интерактивные формы обучения, позволяющие в более короткое время качественно освоить учебный материал, максимально адаптировать студентов к практическим задачам, научить их пользоваться современными информационными технологиями. Интерактивные методы обучения дадут возможность студентам начать самим искать способы и средства решения практических задач, дадут существенный толчок к самообразованию.

## ***2.5 Основные требования к организации и проведению интерактивных занятий***

Организация интерактивного обучения предполагает:

- нахождение проблемной формулировки темы занятия, заданий, вопросов;
- организацию учебного пространства, располагающего к диалогу;
- формирование мотивационной готовности студентов и преподавателя к совместным усилиям в процессе познания;
- создание специальных ситуаций, побуждающих инициативу студентов к активному поиску решения поставленной задачи;
- выработку и принятие правил учебного сотрудничества для студентов и преподавателя (уважать право на свободу слова, терпимость к любой точке зрения, взаимоуважение и т.д.);
- использование «поддерживающих» приемов общения: умение задавать наводящие вопросы, доброжелательные интонации и т.д.;
- оценку процесса и результата совместной деятельности.

### ***Виды интерактивных методов обучения***

#### ***2.5.1 Интерактивная лекция***

Интерактивная лекция объединяет в себе аспекты традиционной лекции и тренинговой игры. Этот формат лекции имеет смысл использовать в тех случаях, когда носителем уникальной информации

является преподаватель или студент и когда ресурс времени и других информационных источников ограничен.

Выделяют следующие виды интерактивных лекций:

- проблемная лекция;
- лекция-консультация;
- лекция «пресс-конференция»;
- лекция вдвоем;
- лекция-беседа;
- лекция с запланированными ошибками (лекция-провокация);
- лекция-исследование;
- лекция-визуализация.

### **2.5.2 Творческое задание**

Творческое задание, как правило, составляет содержание (основу) любой интерактивной формы проведения занятия. Преподаватель находит такое задание, которое требует от студента воспроизведение полученной ранее информации в форме, определяемой преподавателем, и требующей творческого подхода:

- подборка примеров из практики;
- подборка материала по определенной проблеме;
- участие в ролевой игре и т.п.

### **2.5.3 Публичная презентация**

Презентация – эффективных способов донесения важной информации. Слайд-презентация позволяет наглядно представить содержание, выделить и проиллюстрировать сообщение, которое несет презентация, и его ключевые пункты.

Использование интерактивных элементов позволяет усилить эффективность выступлений, являющихся частью профессиональной деятельности большинства специалистов.

### **2.5.4 Анализ конкретных ситуаций (кейс-метод)**

Метод кейсов представляет собой изучение, анализ и принятие решений по ситуации, которая возникла в результате произошедших событий, реальных ситуаций или может возникнуть при определенных обстоятельствах в конкретной организации в тот или иной момент времени. Различают полевые ситуации, основанные на реальном фактическом материале, и кресельные (вымышленные) кейсы. Обучающиеся должны проанализировать ситуацию, разобраться в сути проблем, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них. Преимущества метода:

- развивает аналитическое мышление студентов;
- обеспечивает системный подход к решению проблемы;



- позволяет выделять варианты правильных и ошибочных решений, выбирать критерии нахождения оптимального решения, принимать коллективные решения;
- позволяет соотносить получаемый теоретический багаж знаний с реальной практической ситуацией;
- разбираемая гипотетическая ситуация не связана ни с каким личным риском ни для одного из участников.

Этапы проведения:

- индивидуальное изучение текста ситуации;
- постановка педагогом основных вопросов, вводное слово;
- распределение участников по малым группам;
- работа в составе малой группы, выбор лидера;
- представление «решений» каждой малой группы;
- общая дискуссия, вопросы;
- выступление преподавателя, его анализ ситуации.

### **2.5.5 Обсуждение в группах**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, выделяется определенное время, в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения:

- задавать определенные рамки обсуждения (например, указать не менее 10 ошибок);
- ввести алгоритм выработки общего мнения;
- назначить лидера, руководящего ходом обсуждения и др.

На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

Разновидностью обсуждения является круглый стол, который проводится с целью поделиться проблемами, собственным видением вопроса, познакомиться с опытом, достижениями.

### **2.5.6 Дискуссия**

Метод дискуссии выступает базовым методом в системе интерактивных методов обучения, включаясь в каждый из них как необходимая составляющая.

Дискуссия может выступать и как самостоятельный метод интерактивного обучения, представленный множеством модификаций, различающихся способами организации процесса обсуждения. Дискуссией называется целенаправленное, коллективное обсуждение конкретной проблемы, сопровождающееся обменом идеями, суждениями, мнениями в группе.

Эффективность использования учебной дискуссии как метода обучения определяется целым рядом факторов:

- актуальность выбранной проблемы;
- сопоставление различных позиций участников дискуссии;
- информированность, компетентность и научная корректность;
- владение педагогом методикой дискуссионной процедуры;
- соблюдение правил и регламента и др.

Каждая дискуссия обычно проходит три стадии: ориентация, оценка и консолидация. Последовательное рассмотрение каждой стадии позволило выделить следующие их особенности. Стадия ориентации предполагает адаптацию участников дискуссии к самой проблеме, друг другу, что позволяет сформулировать проблему, цели дискуссии; установить правила, регламент дискуссии. В стадию оценки происходит выступление участников дискуссии, их ответы на возникающие вопросы, сбор максимального объема идей, предложений, пресечение преподавателем личных амбиций отклонений от темы дискуссий. Стадия консолидации заключается в анализе результатов дискуссии, согласовании мнений и позиций, совместном формулировании решений и их принятии.

В процессе дискуссии наиболее полно представлена возможность:

- моделировать реальные жизненные проблемы;
- вырабатывать у студентов умение слушать и взаимодействовать с другими;
- продемонстрировать характерную для большинства проблем многозначность решений;
- обучить анализировать реальные ситуации, отделять главное от второстепенного.

Дискуссия выявляет многообразие существующих точек зрения на какую либо проблему, инициирует всесторонний анализ каждой из них, формирует собственный взгляд каждого участника дискуссии на ту или иную проблему.

В зависимости от целей и задач занятия, возможно, использование следующих видов дискуссий: классические дебаты, экспресс-дискуссия, текстовая дискуссия, проблемная дискуссия, ролевая дискуссия. Вид дискуссии выбирает преподаватель в зависимости от задач, которые он ставит перед собой, возможно сочетание различных видов дискуссий. Существуют специализированные методики проведения дискуссии.

### ***2.5.7 Методика «Круглый стол»***

«Круглый стол» - один из способов организации обсуждения вопроса, представляет собой разновидность групповой дискуссии.

Целевое назначение метода:

- обеспечение свободного, нерегламентированного обсуждения поставленных вопросов (тем) на основе постановки всех студентов в равное положение по отношению друг к другу;
- системное, проблемное обсуждение вопросов с целью видения разных аспектов проблемы.

Необходимыми атрибутами «круглого стола» являются:

- соответствующая подготовка помещения для его проведения: симметричное расположение рабочих мест для того, чтобы студенты могли видеть друг друга;
- введение в практику принципа «свободного микрофона»;
- создание и пополнение фонда вопросов, на которые должны ответить участники «круглого стола»;
- наличие технических средств получения и обработки поступающей информации (при необходимости).

Этапы проведения:

- краткое вводное слово преподавателя;
- заслушивание кратких вводных сообщений участников «круглого стола»;
- постановка перед участниками «круглого стола» вопросов, поступивших из аудитории;
- развертывание дискуссии;
- выработка согласованных позиций по предмету обсуждения.

### ***2.5.8 Методика «Мозговой штурм»***

«Мозговой штурм» представляет собой разновидность групповой дискуссии, которая характеризуется отсутствием критики поисковых усилий, сбором всех вариантов решений, гипотез и предложений, рожденных в процессе осмысления какой-либо проблемы, их

последующим анализом с точки зрения перспективы дальнейшего использования или реализации на практике. Использование методики «мозговой штурм» стимулирует группу студентов к быстрому генерированию как можно большего вариантов ответов на вопрос.

На первом этапе проведения «мозгового штурма» группе дается определенная проблема для обсуждения; участники высказывают по очереди любые предложения в точной и краткой форме; ведущий записывает все предложения (на доске, плакате) без критики их практической применимости.

На втором этапе проведения «мозгового штурма» высказанные предложения обсуждаются. Группе необходимо найти возможность применения любого из высказанных предложений или наметить путь его усовершенствования. На данном этапе возможно использование различных форм дискуссии.

На третьем этапе проведения «мозгового штурма» группа представляет презентацию результатов по оговоренному принципу:

- самое оптимальное решение;
- несколько наиболее удачных предложений;
- самое необычное решение и т.п.

Для проведения «мозгового штурма» возможно деление участников на несколько групп:

- генераторы идей, которые высказывают различные предложения, направленные на разрешение проблемы;
- критики, которые пытаются найти отрицательное свойство в предложенных идеях;
- аналитики, которые будут привязывать выработанные предложения к конкретным реальным условиям с учетом критических замечаний, и др.

### ***2.5.9 Кооперативное обучение***

Технология обучения, при которой студенты должны кооперироваться в рамках учебного процесса. Студенты объединяют свои усилия для решения общей задачи, при этом каждый «кооперирующийся» выполняет свою конкретную часть работы. Впоследствии студенты должны обменяться полученными знаниями.

После получения заданий и инструкций от преподавателя студенческая группа разделяется на несколько малых групп. Затем каждая малая группа самостоятельно работает над заданием до тех пор, пока все ее члены разберутся в нем и успешно его выполняют. Соци-

альное значение такой модели обучения: акцентируется роль каждого студента в выполнении общей задачи, формируются групповое сознание, позитивная взаимозависимость, коммуникативные навыки.

Кооперативный метод обучения может быть реализован в следующих формах: обучение в командах достижений, метод структурированного противоречия, трехступенчатое интервьюирование, нумерация студентов, метод командной поддержки индивидуального обучения и др.

Разные методики предполагают различные этапы его проведения. Особым вариантом кооперативного обучения, является метод проектов (разработка проектов).

#### ***2.5.10 Разработка проекта***

Цель проектного обучения - создать условия, при которых студенты:

- самостоятельно и охотно приобретают недостающие знания из разных источников;
- учатся пользоваться приобретенными знаниями для решения познавательных и практических задач;
- приобретают коммуникативные умения, работая в различных группах;
- развивают исследовательские умения (умения выявления проблем, сбора информации, наблюдения, проведения эксперимента, анализа, построения гипотез, обобщения);
- развивают системное мышление.

Метод проектов не ограничивается одним аудиторным занятием (могут быть задействовано несколько занятий) и предполагает большой объем внеаудиторной совместной работы студентов. Группа или отдельный участник имеет возможность защитить свой проект. Участники могут обратиться за консультацией, дополнительной литературой в специализированные учреждения, библиотеки и т.д.

Допускается использование различных источников информации: (научная литература, периодическая печать, сборники документов; статистические издания; кино и фотодокументы). Этапы проведения:

- каждая малая группа студентов проводит мини-исследование;
- собирает эмпирический материал;
- проводит статистическую обработку результатов исследования;

- формулирует новизну полученных результатов;
- оформить исследование в виде доклада;
- проводит «процедуру защиты» основных положений и результатов исследования перед специальным экспертным советом.

### **2.5.11 Коллоквиум**

Коллоквиум - вид учебно-теоретических занятий, представляющий собой групповое обсуждение под руководством преподавателя достаточно широкого круга проблем, например, относительно самостоятельного большого раздела лекционного курса.

Одновременно это и форма контроля, разновидность устного экзамена, массового опроса, позволяющая преподавателю в сравнительно небольшой срок выяснить уровень знаний студентов целой академической группы по данному разделу курса.

Коллоквиум проходит обычно в форме дискуссии, в ходе которой студентам предоставляется возможность высказать свою точку зрения на рассматриваемую проблему, учиться обосновывать и защищать ее. Аргументируя и отстаивая свое мнение, студент в то же время демонстрирует, насколько глубоко и осознанно он усвоил изученный материал.

### **2.5.12 Тренинг**

Тренинг - форма интерактивного обучения, целью которого является развитие компетентности межличностного и профессионального поведения в общении. Достоинством тренинга является то, что он обеспечивает активное вовлечение всех участников в процесс обучения.

Требования к проведению тренинга:

- оптимальное количество участников тренинга 20-25 человек;
- соответствующее по размерам количеству участников тренинга помещение;
- обязательность ознакомления участников в начале любого занятия тренинга с целями и задачами данного занятия;
- проведение на первом занятии тренинга упражнения «знакомство» и принятие «соглашения» - правил работы группы;
- создание дружелюбной доверительной атмосферы и ее поддержание в течение всего тренинга;
- вовлечение всех участников в активную деятельность на протяжении всего тренинга;
- уважение чувств и мнений каждого участника;

- поощрение участников тренинга;
- подведение участников тренером (преподавателем) к достижению поставленной перед ними цели занятия, не навязывая при этом своего мнения;
- обеспечение тренером соблюдения временных рамок каждого этапа тренинга;
- обеспечение эффективного сочетания теоретического материала и интерактивных упражнений;
- обязательность подведения итогов тренинга по его окончании.

Преподаватель-тренер должен владеть психолого- педагогическими знаниями и умело применять их в учебном процессе, владеть методами получения, накопления и преподнесения информации участникам, влияя на их поведение и отношения.

Преподаватель-тренер должен знать цели и задачи, методы и способы обучения, источники информации, профилактические образовательные программы.

Итоги подводятся в конце любого занятия, тренинга. Данная процедура рассчитана на то, чтобы участники поделились своими впечатлениями, ощущениями, высказали свои пожелания. Подведение итогов можно проводить в виде заполнения анкет.

Тренер может спросить участников семинара, что нового они узнали, что было для них интересно, полезно, предложить вспомнить, какие упражнения они выполняли, таким образом, закрепляя пройденный материал.

### ***2.5.13 Деловая игра***

Метод «Деловая игра» - средство моделирования разнообразных условий профессиональной деятельности (включая экстремальные) методом поиска новых способов ее выполнения. Деловая игра имитирует различные аспекты человеческой активности и социального взаимодействия. Игра также является методом эффективного обучения, поскольку снимает противоречия между абстрактным характером учебного предмета и реальным характером профессиональной деятельности. Цели использования:

- формирование познавательных и профессиональных мотивов и интересов;
- воспитание системного мышления;
- передача целостного представления о профессиональной деятельности и её крупных фрагментах с учётом восприятия;

- обучение коллективной мыслительной и практической работе, формирование умений и навыков социального взаимодействия и общения, навыков индивидуального и совместного принятия решений;
- обучение методам моделирования, в том числе математического, инженерного и социального проектирования.

Деловая игра позволяет найти решение сложных проблем путем применения специальных правил обсуждения, стимулирования творческой активности участников как с помощью специальных методов работы (например, методом «Мозгового штурма»).

Применение деловых игр позволяет выявить и проследить особенности психологии участников. С помощью деловых игр можно определить:

- наличие тактического и (или) стратегического мышления;
- способность анализировать собственные возможности и выстраивать соответствующую линию поведения;
- способность прогнозировать развитие процессов;
- способность анализировать возможности и мотивы других людей и влиять на их поведение;
- ориентацию при принятии решений на игру «на себя» или «в интересах команды» и многое другое.

Использование деловых игр способствует развитию навыков критического мышления, коммуникативных навыков, навыков решения проблем, отработке различных вариантов поведения в проблемных ситуациях.

#### ***2.5.14 Ролевая игра***

Ролевая игра предполагает деятельность студентов в рамках выбранных ими ролей, руководствуясь характером своей роли и внутренней логикой среды действия, а не внешним сценарием поведения. Игроки могут свободно импровизировать в рамках выбранных правил, определяя направления и исход игры. В ролевых играх одну и ту же роль в заданной ситуации могут последовательно проигрывать несколько участников, что позволяет анализировать разные варианты поведения и их эффективность.

Преимущество этого метода в том, что каждый из участников может представить себя в предложенной ситуации, ощутить те или иные состояния более реально, почувствовать последствия тех или иных действий и принять решение.



### **2.5.15 Семинары**

Во всей цепочке обучения семинар – один из наиболее сложных видов педагогического действия. Семинарское занятие как форма группового обучения применяется для коллективной проработки тем учебной дисциплины, усвоение которых определяет качество профессиональной подготовки, для обсуждения сложных разделов, наиболее трудных для индивидуального понимания и усвоения.

Для семинара характерен непосредственный контакт преподавателя со студентами, и первая его задача в этом случае установление доверительного общения, создание атмосферы совместного творчества, взаимопомощи. Следовательно, в ходе семинара педагогическое взаимодействие осуществляется не только по линии «преподаватель – студент», но и по линии «преподаватель – студент – студент».

Семинар является гибкой формой обучения, предполагающей (наряду с направляющей ролью преподавателя) интенсивную самостоятельную работу каждого студента.

Организация семинарского занятия требует владения материалом, быстрой реакции на содержание и форму подачи идей. Умения распределить время студентов и организовать работу всего коллектива учебной группы, уделяя внимание каждому студенту.

На семинарском занятии должна быть решена одна из главных его задач – научить студента использовать знания, полученные на лекциях, и материалы научных исследований.

Основной целью семинарского занятия является не столько проверка знаний, сколько углубление, закрепление и полное усвоение того материала, в котором лекция ориентировала студентов, на базе умения самостоятельной работы с литературой и другими источниками. Такой подход позволяет максимально приблизить содержание учебного материала к реальным потребностям практики и условиям профессиональной деятельности. Эффективность семинарских занятий определяется тем, что они проводятся как заранее подготовленное совместное обсуждение выдвинутых вопросов с коллективным поиском ответов на них. Это обязывает преподавателя так организовать обсуждение, чтобы добиться интенсивного общения со студентами через активизацию их мыслительной деятельности, пробуждение интереса к обсуждаемой проблеме. Исходя из этого опытные преподаватели стремятся сначала разбудить любознательность студентов, вызвать со стороны аудитории вопросы: «Почему? Зачем? С какой целью?» Настрой студентов на ожидание интенсивного об-

щения, интересных объяснений, обоснований доказательств позволяет избежать скучного повторения прописных истин и штампов.

Выбор преподавателем такого варианта проведения семинара обязывает его быть режиссером каждого занятия, овладеть навыками педагогической работы с учебной группой, чтобы уметь организовать живое общение, выслушать мнение каждого по обсуждаемым вопросам, обеспечить «партнерское взаимодействие». Это позволит ему реализовать все основные функции семинарского занятия познавательную, воспитательную, развивающую, а также вспомогательную по отношению к ним функцию контроля.

Семинар – это творческая лаборатория, в которой знания студентов, полученные на лекции и в результате самостоятельной работы, во-первых, закрепляются, приобретают качественно иное, более осмысленное и прочное содержание. Во-вторых, расширяются, поскольку в ходе занятий выдвигаются новые положения, новые истины, не попавшие ранее в сферу внимания студентов. В-третьих, углубляются, двигая мысль студентов одного уровня познания к другому, более высокому.

Семинары помогают студентам овладеть научной терминологией, свободно оперировать ею, применять ее при анализе явлений природы, общества, мышления, прививают навыки самостоятельного мышления, устного выступления, оттачивают мысль, являясь хорошей школой подготовки будущих специалистов.

Воспитательная функция семинара вытекает из познавательной, поскольку глубокое познание связано с осознанием теоретических положений и идей, с формированием научного мировоззрения, общей культуры и профессионального мастерства. Семинары способствуют превращению знаний в твердые личные убеждения студентов, помогают преподавателю изучать мнения и интересы аудитории, устраняя при этом ошибочные взгляды, нездоровые настроения, совершенствуя и закрепляя правильные. Атмосфера взаимодоверия и взаимопонимания, создаваемая опытным преподавателем на семинаре, позволяет решать задачи нравственного, эстетического воспитания, причем достигается это не только личным влиянием преподавателя на аудиторию, но и организацией общественного мнения.

Таким образом, познавательная, воспитательная и контрольная функции семинара выступают в единстве и взаимосвязи. В зависимости от типов и форм семинаров изменяется лишь их соотношение.

### 3 АКТИВНЫЕ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ. ТЕСТИРОВАНИЕ

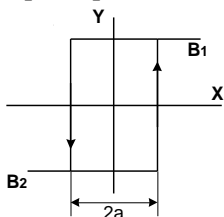
В качестве примера активных форм обучения можно использовать тестирование. Примеры тестов при подготовке магистров по дисциплине «Современные проблемы науки в агроинженерии» приведены ниже. На некоторые тесты получены свидетельства о государственной регистрации базы данных [3-7, 9, 11, 12, 14, 16-25].

<p><b>1. Задание { } ТЗ № 1</b> Укажите диапазон инфразвуковых волн  <input checked="" type="checkbox"/> Ниже 20 Гц.; <input type="checkbox"/> Выше 20 Гц.;  <input type="checkbox"/> 20 – 20000 Гц.  <input type="checkbox"/> 20 – 40 кГц.; <input type="checkbox"/> 20 – 20 мГц.</p>	<p><b>2. Задание { } ТЗ № 2</b> Укажите диапазон звуковых волн  <input type="checkbox"/> 20 – 20 мГц.  <input checked="" type="checkbox"/> 20 – 20000 Гц.  <input type="checkbox"/> Выше 20 Гц.; <input type="checkbox"/> Ниже 20 Гц.  <input type="checkbox"/> 20 – 40 кГц.; <input type="checkbox"/> 20 – 20 мГц.</p>
<p><b>3. Задание { } ТЗ № 3</b> Укажите диапазон ультразвуковых волн  <input type="checkbox"/> 20 – 20 мГц.  <input checked="" type="checkbox"/> 20 кГц – 1 ГГц.  <input type="checkbox"/> Выше 20 Гц.  <input type="checkbox"/> Ниже 20 Гц.; <input type="checkbox"/> 20 – 40 мГц.</p>	<p><b>7. Задание { } ТЗ № 7</b> Назовите диапазон длин волн видимого излучения.  <input type="checkbox"/> 1...380 нм  <input type="checkbox"/> 380...880 нм  <input checked="" type="checkbox"/> 740 – 380 нм  <input type="checkbox"/> 740 ...1мм  <input type="checkbox"/> 1400 нм... 3000 нм</p>
<p><b>8. Задание { } ТЗ № 8</b> Назовите диапазон длин волн УФ излучения.  <input checked="" type="checkbox"/> 10 - 380 нм  <input type="checkbox"/> 380...780 нм  <input type="checkbox"/> 760...1 мм; <input type="checkbox"/> 1 нм...1 мм  <input type="checkbox"/> 1400 нм...3000 нм</p>	<p><b>10. Задание { } ТЗ № 10</b> Монохроматическое излучение создают:  <input type="checkbox"/> лучи Рентгена  <input type="checkbox"/> ИК-излучения  <input type="checkbox"/> УФ-излучения  <input checked="" type="checkbox"/> лучи лазера  <input type="checkbox"/> смешанные излучения</p>
<p><b>18. Задание { } ТЗ № 18</b> Приёмником эритемного потока являются:  <input checked="" type="checkbox"/> животные  <input type="checkbox"/> растения; <input type="checkbox"/> предметы  <input type="checkbox"/> бактерии; <input type="checkbox"/> глаз человека</p>	<p><b>21. Задание { } ТЗ № 21</b> Единица измерения силы света:  <input type="checkbox"/> лм  <input checked="" type="checkbox"/> кд  <input type="checkbox"/> фит  <input type="checkbox"/> лк  <input type="checkbox"/> Вт</p>

<p><b>36. Задание { } T3 № 36</b>  Наибольшей магнитострикцией обладает следующий материал</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> никель  <input type="checkbox"/> алюминий  <input type="checkbox"/> сталь  <input type="checkbox"/> железо  <input type="checkbox"/> титан</p>	<p><b>39. Задание { } T3 № 39</b>  Наибольшей магнитострикцией обладает следующий материал</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> альфер  <input type="checkbox"/> алюминий  <input type="checkbox"/> сталь  <input type="checkbox"/> железо  <input type="checkbox"/> титан</p>
<p><b>51. Задание { } T3 № 51</b>  Для автоматического переключения обмоток электродвигателя можно использовать</p> <p><input type="checkbox"/> активные сопротивления  <input type="checkbox"/> катушки индуктивности  <input type="checkbox"/> трансформаторы тока  <input checked="" type="checkbox"/> магнитные пускатели  <input type="checkbox"/> трансформаторы напряжения</p>	<p><b>52. Задание { } T3 №52</b>  Автоматизация навозоуборочных транспортеров производится в функции</p> <p><input type="checkbox"/> температуры  <input type="checkbox"/> влажности  <input checked="" type="checkbox"/> пути  <input type="checkbox"/> давления  <input type="checkbox"/> скорости</p>
<p><b>53. Задание { } T3 №53</b>  Автоматизация насосной станции без башенного типа производится в функции</p> <p><input type="checkbox"/> температуры  <input type="checkbox"/> влажности  <input type="checkbox"/> пути  <input checked="" type="checkbox"/> давления  <input type="checkbox"/> скорости</p>	<p><b>55. Задание { } T3 №55</b>  В схемах управления катушки магнитных пускателей включаются между собой</p> <p><input type="checkbox"/> последовательно  <input checked="" type="checkbox"/> параллельно  <input type="checkbox"/> перпендикулярно  <input type="checkbox"/> встречно  <input type="checkbox"/> согласовано</p>
<p><b>57. Задание { } T3 №57</b>  В цепи управления размыкающие контакты теплового реле включаются</p> <p><input type="checkbox"/> Параллельно  <input type="checkbox"/> Перпендикулярно  <input type="checkbox"/> Встречно  <input type="checkbox"/> Согласовано  <input checked="" type="checkbox"/> Последовательно</p>	<p><b>58. Задание { } T3 № 58</b>  Какова должна быть последовательность автоматического пуска машин технологических линий</p> <p><input type="checkbox"/> в любой последовательности  <input type="checkbox"/> по движению продукта  <input checked="" type="checkbox"/> против движения продукта  <input type="checkbox"/> по весу продукта  <input type="checkbox"/> в любой последовательности</p>

**59. Задание { } T3 № 59**

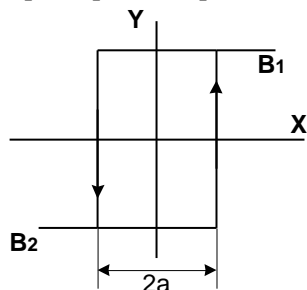
На рисунке показана статическая характеристика звена....



- аperiodического
- релейного
- изодромного
- усилительного
- интегрального

**61. Задание { } T3 № 61**

На рисунке показана статическая характеристика релейного звена



- трехпозиционного
- двухпозиционного
- однопозиционного
- усилительного
- линейного

**63. Задание { } T3 № 63**

Какое звено описывается дифференциальным уравнением

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T \frac{dy}{dt} + y = kx$$

- безынерционное
- аperiodическое 2-го порядка
- аperiodическое 1-го порядка
- интегрирующее
- дифференцирующее

**74. Задание { } T3 № 74**

Что произойдет, если во время работы электродвигателя, оснащенного УВТЗ-5А, произойдет в цепи позисторов обрыв

- уменьшится момент, развиваемый электродвигателем
- уменьшится частота вращения вала электродвигателя
- электродвигатель не отключится
- электродвигатель отключится в момент обрыва
- электродвигатель отключится через 20 минут

**75. Задание { } ТЗ № 75**

Какой аппарат из перечисленных ниже относится к аппаратам автоматического управления

- выключатель и переключатель пакетный
- контроллер
- рубильник
- автоматический выключатель
- магнитный пускатель

**78. Задание { } ТЗ № 78**

Что такое электромеханическая характеристика двигателя постоянного тока?

- зависимость момента на валу от угловой частоты вращения якоря  $M = f(\Omega)$
- зависимость момента на валу от тока якоря  $M = f(I)$
- зависимость угловой частоты вращения якоря от тока якоря  $\Omega = f(I)$
- зависимость момента на валу от мощности на валу  $M = f(P_2)$
- зависимость потребляемой мощности из сети от мощности на валу  $P_1 = f(P_2)$

**79. Задание { } ТЗ № 79**

Почему при пуске двигателя постоянного тока в цепь якоря включается дополнительное сопротивление?

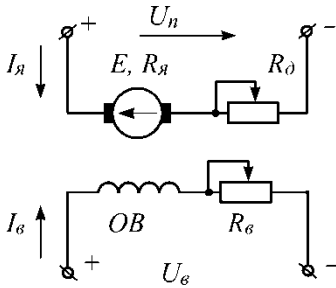
- для ограничения угловой скорости вращения якоря
- для ограничения пускового момента
- для предотвращения механического разрушения якоря
- для уменьшения нагрева щеток двигателя
- для ограничения пускового тока

**82. Задание { } ТЗ № 82**

От чего зависит частота вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя?

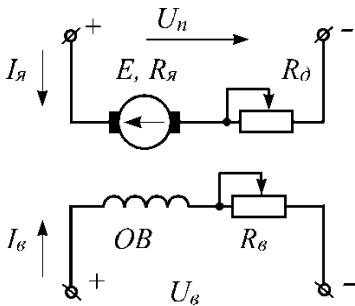
- напряжения сети
- мощности двигателя
- нагрузки на валу двигателя
- схемы соединения обмотки статора
- частоты питающего тока

1. На рисунке представлена схема:



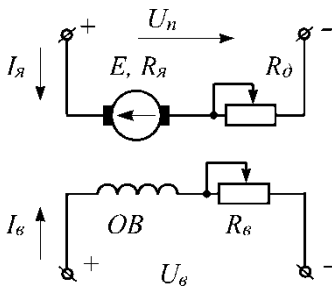
- : Асинхронного двигателя с фазным ротором
- : Асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором
- : Двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
- : Двигателя постоянного тока параллельного возбуждения
- + : Двигателя постоянного тока независимого возбуждения

2. При каких условиях изменится направление тока якоря  $I_{я}$ :



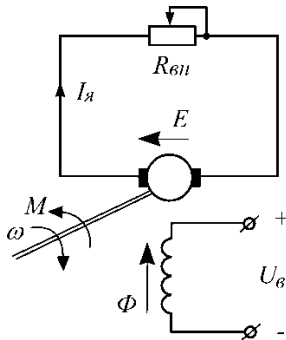
- + : При изменении полярности напряжения  $U_n$
- : При изменении полярности напряжения  $U_в$
- : При уменьшении сопротивления  $R_{дон}$
- : При уменьшении сопротивления  $R_в$
- : При отключении напряжения  $U_в$

3. Для указанной на рисунке схеме ДПТ с НВ, как определить ток якоря  $I_{я}$ :



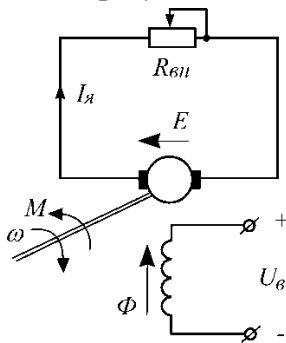
- :  $I_{я} = (U_n - E) / R$
- + :  $I_{я} = (U_n - E) / (R_я + R_{дон})$
- :  $I_{я} = (U_n + E) / (R_я + R_{дон})$
- :  $I_{я} = (U_n + U_{в03}) / (R_я + R_{дон})$
- :  $I_{я} = (U_{в03} - E) / R_{в03}$

4. Какой режим работы ДПТ с НВ показан на рисунке:



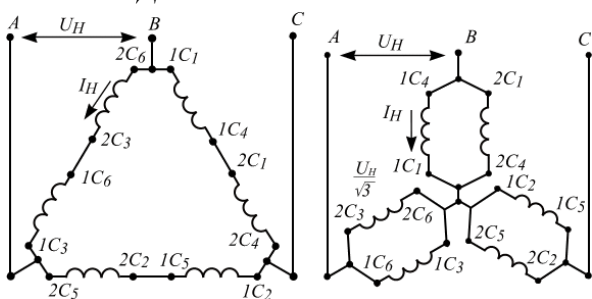
- : Двигательный
- : Противовключения
- +: Динамического торможения
- : Рекуперативного торможения
- : Реверса

5. Тормозной момент для динамического торможения на рисунке



- +:  $-M = -I_я k\Phi$
- :  $-M = kU_n I$
- :
- :  $-M = kU_n I / R_я$
- :  $-M = k\Phi I / R_я$
- :  $-M = -k\Phi I^2$

6. Представлена схема переключения обмоток АД:



- : «Треугольник»– «двойной треугольник»
- +: «Треугольник» – «двойная звезда»
- : «Звезда» – «двойная звезда»
- : «Треугольник» – «треугольник»
- : «Звезда»– «звезда»



## **4 ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В ИНТЕРАКТИВНОЙ ФОРМЕ**

### **4.1 Пример проведения семинара на тему: «Применение электромагнитных волн в производстве»**

Такой семинар апробирован при подготовке магистров по дисциплине «Современные проблемы науки в агроинженерии».

Семинарское занятие как форма группового обучения применяется для коллективной проработки тем учебной дисциплины, усвоение которых определяет качество профессиональной подготовки, для обсуждения сложных разделов, наиболее трудных для индивидуального понимания и усвоения.

Для семинарского занятия и коллективного обсуждения, предлагается конкретная проблема: «Применение электромагнитных волн в производстве». Преподаватель заранее объясняет актуальность выбранной темы, рекомендует литературу [26-30, 34-37].

Электромагнитные волны – это электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью, зависящей от свойств окружающей среды. Из уравнений Максвелла следует, что переменное электрическое поле порождает магнитное, а переменное магнитное поле порождает электрическое, поэтому электромагнитное поле может существовать и в отсутствие зарядов. Электромагнитное поле есть вид материи, определяющийся во всех точках двумя векторными величинами, которые характеризуют две его составляющие - «электрическое поле» и «магнитное поле», и оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы, зависящее от их скорости и величины их заряда.

Электромагнитные волны классифицируются по длине волны  $\lambda$  или связанной с ней частотой волны  $f$ . Отметим также, что эти параметры характеризуют не только волновые, но и квантовые свойства электромагнитного поля.

Студентам предлагается рассмотреть и вспомнить понятие спектра электромагнитных волн. В общем случае спектром электромагнитных волн называется полоса частот электромагнитных волн, существующих в природе (рис. 4.1).

Предлагается внимательно изучить полосу электромагнитных волн, высказать известные области применения, смоделировать возможные реальные жизненные применения, продемонстрировать характерную для большинства проблем многозначность решений.

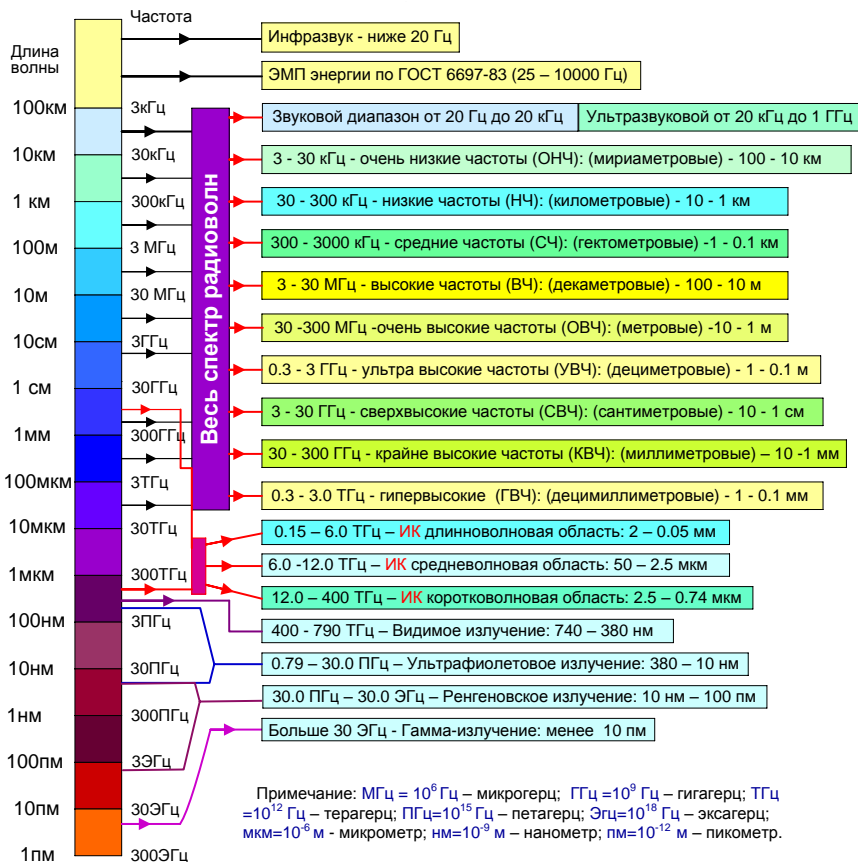


Рис. 4.1 – Шкала электромагнитных волн

Общепринято, что шкала электромагнитных волн начинается с инфразвуковых колебаний.

Инфразвук (от лат. *infra* - ниже, под), упругие волны, аналогичные звуковым волнам, но с частотами ниже области слышимых человеком частот. Обычно за верхнюю границу инфразвуковой области принимают частоты 16 - 25 Гц. Нижняя граница инфразвукового диапазона неопределенна. Практический интерес могут представлять колебания от десятых долей Гц, т. е. с периодами в десятках секунд.

Для инфразвука характерно малое поглощение в различных средах, вследствие чего он в воздухе, воде и в земной коре может распространяться на очень далёкие расстояния. Распространение инфразвука на большие расстояния в море даёт возможность предска-

здания стихийного бедствия - цунами. Звуки взрывов, содержащие большое количество инфразвуковых частот, применяются для исследования верхних слоев атмосферы, водной среды.

Природными источниками инфразвука являются землетрясения, извержения вулканов, раскаты грома, штормы, ветры. Немалую роль в их возникновении играет турбулентность атмосферы.

К искусственным источникам инфразвука относят взрывы, выстрелы из тяжелых орудий, вибрации зданий, конструкций, прессы, вентиляционные системы, вибрации в поездах, автомобилях, на кораблях и судах, работа мощных дизельных установок и т.п.

Некоторые техногенные источники инфразвуковых колебаний в городах приведены в таблице 4.1 и на рисунке 4.2.

Таблица 4.1 – Техногенные источники инфразвуковых колебаний

Источник инфразвука	Характерный частотный диапазон инфразвука	Уровни инфразвука
Автомобильный транспорт	Весь спектр инфразвукового диапазона	Снаружи 70-90 дБ, внутри до 120 дБ
Железнодорожный транспорт и трамваи	10-16 Гц	Внутри и снаружи от 85 до 120 дБ
Промышленные установки аэродинамического и ударного действия	8-12 Гц	До 90-105 дБ
Вентиляция промышленных установок и помещений, то же в метрополитене	3-20 Гц	До 75-95 дБ
Реактивные самолеты	Около 20 Гц	Снаружи до 130 дБ

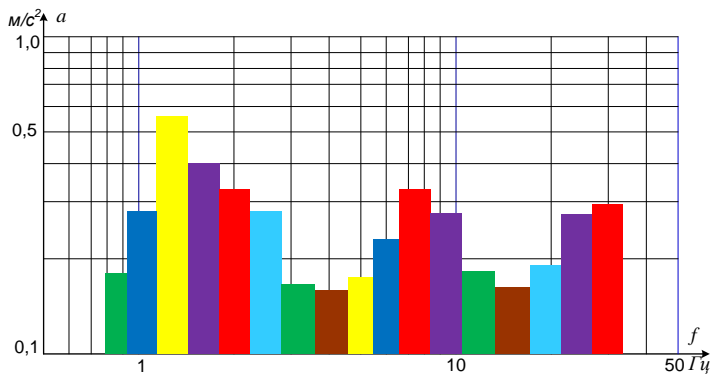


Рис. 4.2 – Характерный спектр вибраций поезда метро при скорости около 60 км/час

Далее преподаватель приводит некоторые примеры применения инфразвуковых колебаний в промышленности.

Например, гигантская резиновая змея (рис. 4.3) может стать будущим возобновляемых источников энергии. Колеблющаяся «анаконда» производит электричество из энергии движущихся волн. Разработчики отмечают, что способны получать больше энергии, чем существующие приливные установки, а обслуживание будет потреблять меньше средств [[http:// lider-in.ru/news/70](http://lider-in.ru/news/70)].

Конструкция ведет себя в воде как ветряк. Движущаяся волна деформирует стенки цилиндра и внутри создает волну избыточного давления, движущуюся вдоль стенок. Когда она доходит до конца цилиндра, это давление заставляет вращаться турбину и вырабатывать электрическую энергию.

Полномасштабная модель имеет 7 метров в диаметре и длину 200 метров, по проекту ее необходимо посадить на якорь на глубине до 100 метров. В данный момент, университетом Саутгемптона проводятся испытания уменьшенной версии в специальном резервуаре.

Подбором диаметра, гибкости и толщины резинового цилиндра, можно придать скорость движения областей избыточного давления внутри, равную скорости движения волн снаружи. И в результате можно более эффективно использовать энергию волн.

Полномасштабная модель будет вырабатывать до 1 МВт, что достаточно для обеспечения энергией 200 домов.

Проект «Анаконда», по мнению разработчиков, способен более успешно решить задачу использования приливной энергии.



Рис. 4.3 – Макет волнового преобразователя для получения электрической энергии

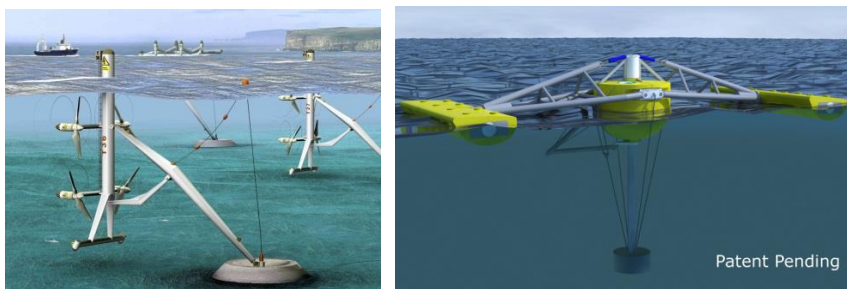


Рис. 4.4 – Получение электроэнергии из волн



Рис. 4.5 – Конструкция волнового генератора типа «Oyster - 2»

Компания «Aquamarine Power» представила новый проект генератора волн «Oyster - 2» (рис. 4.5). Работает он следующим образом. «Oyster - 2» закрепляется к дну моря, примерно в полумиле от берега. Трубопроводы, которые подключены к двум гидравлическим поршням, подключаются к ГЭС на берегу. Ключевыми особенностями проекта является установка большого качающегося поплавка- насоса сравнительно недалеко от берега, на глубине порядка 10-16 метров, а также вынос всей электрической части системы на берег.

Три генератора «Oyster - 2» установлены и подключены в Европейском морском центре по проблемам энергетики в Шотландии.

Данные о физиологическом действии инфразвука противоречивы. Считается, что его влияние на человека связано с резонансами внутренних органов. Так как длина волны инфразвука значительно больше размеров человека, то он подвергается ее воздействию синфазно (одновременно синхронно со всех сторон). В случае резонансов это может приводить к большим периодическим смещениям органов и тканей. Считается, что инфразвук высокого уровня может приводить к смертельным исходам.

При этом вредное действие определяется не только уровнем звука, но и его частотой. При частотах возбуждения, близких к резонансным частотам, главную роль играют силы трения. При условии, когда частота внешнего воздействия значительно больше резонансной, поведение колебательной системы зависит от силы инерции или массы. По мнению врачей особенно опасно для человека появление звуковых колебаний со следующими частотами, которые приводят к возникновению резонанса:

- 20-30 Гц (резонанс головы);
- 40-100 Гц (резонанс глаз);
- 0,5-13 Гц (резонанс вестибулярного аппарата);
- 4-6 Гц (резонанс сердца);
- 2-3 Гц (резонанс желудка);
- 2-4 Гц (резонанс кишечника);
- 6-8 Гц (резонанс почек); • 2-5 Гц (резонанс рук).

Так как воздействие инфразвука не воспринимается непосредственно органами чувств человека, источники инфразвука могут, по мнению специалистов, быть использованы как перспективный вид оружия массового поражения людей. В Центре исследований, разработки и обслуживания вооружений армии США (ARDEC) были созданы устройства, генерирующие «акустические пули» - не рассеивающиеся в пространстве мощные звуковые импульсы. Аналогичные установки были применены для разгона демонстрантов в некоторых странах мира.

Похожими устройствами занимаются специалисты в России: по словам военных, их установка генерирует мощную инфразвуковую «акустическую пулю» размером с волейбольный мяч, поражающую человека за сотни метров.

В настоящее время интенсивно ведутся работы по «гуманному» практическому использованию инфразвуковых волн, возникающих над поверхностью моря при сильном ветре, в результате вихреобразования за гребнями волн.

Преподаватель для обсуждения дает возможные направления научных исследований и дискуссий:

1. Борьба с техногенными источниками инфразвуковых колебаний (защита человека, жилых и производственных помещений).
2. Исследование и разработка новых конструкций волновых генераторов для получения электрической и тепловой энергии.

## **4.2 Пример проведения семинара на тему: «Частотный диапазон электромеханических преобразователей энергии»**

В шкале электромагнитных волн, (рис. 4.1) следующий диапазон так называемых промышленных частот. Согласно ГОСТ 6697-83 системы электроснабжения, источники, преобразователи и приемники электрической энергии переменного тока имеют номинальные частоты от 0,1 до 10000 Гц.

По этому ГОСТу номинальные частоты источников электрической энергии должны выбираться из ряда: 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5; 10; 25; 50; 400; 1000; 10000 Гц. Номинальные частоты преобразователей и приемников электрической энергии должны выбираться из ряда: 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 12,5;  $16^{2/3}$ ; 50; 400; 1000; 2000; 4000; 10000 Гц.

***Не рекомендуется применять частоты до 25 Гц включительно. Почему?***

Дополнительно для электроприводов центрифуг, сепараторов, деревообрабатывающих станков, электроинструмента, без редукторных электрических шпинделей, электротермического оборудования, а также преобразователей, предназначенных для их питания, номинальные частоты допускается выбирать из ряда: 100; 150; 200; 250; 300; 500; 600; 800; 1200; 1600; 2400; 8000 Гц.

В этом диапазоне работают самое большое количество систем электроснабжения, источники, преобразователи и приемники электрической энергии переменного тока: электромашинные преобразователи, выпрямители, электрические двигатели различных типов, генераторы, трансформаторы, инверторы и другое электротехническое оборудование. Поэтому для этой темы уделяется большое количество часов семинарских занятий. Кроме указанной литературы [8, 10, 13, 15, 23, 38, 39, 44, 53, 60-67], для каждого занятия дается дополнительная литература, конкретизирующая тему семинара.

Рассмотрим на примере широко распространенных асинхронных электрических машин - устройство, достоинство и области применения. Асинхронные двигатели (АД) в силу ряда достоинств (относительная дешевизна, высокие энергетические показатели, простота обслуживания) являются наиболее распространенными среди всех электрических машин. В количественном отношении АД составляют около 70% всего парка машин в производстве. Асинхронные двигатели выпускаются, как правило, большими сериями, наиболее значительными из которых являются машины общего назначения – серии

4А, АИ, RA, 5А, 6А, 7А и серии специализированных двигателей, например, крановых МТ, взрывозащищенных ВР и других.

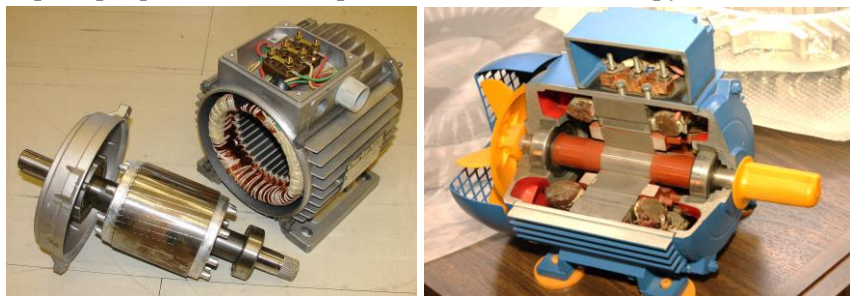


Рис. 4.6 – Конструкция асинхронной машины основного исполнения



Рис. 4.7 – Конструкция АД с принудительной вентиляцией для частотно регулируемых электроприводов

По конструкции АД делятся на два типа: АД с короткозамкнутым ротором и АД с фазным ротором. Конструкция статоров, корпусов, подшипниковых щитов и общая компоновка машин обоих типов не имеют существенных различий.

Студентам предлагается привести известные схемы замещения АД, их достоинство и недостатки.

Для вывода уравнений механических и электромеханических характеристик воспользуемся упрощенной Г-образной схемой замещения АД (рис. 4.8). На схеме:

$U_{1\phi}$  – фазное напряжение;  $I_{1\phi}$  – фазный ток статора;

$x_1$  и  $x'_2$  – индуктивное сопротивление фазы статора и ротора;

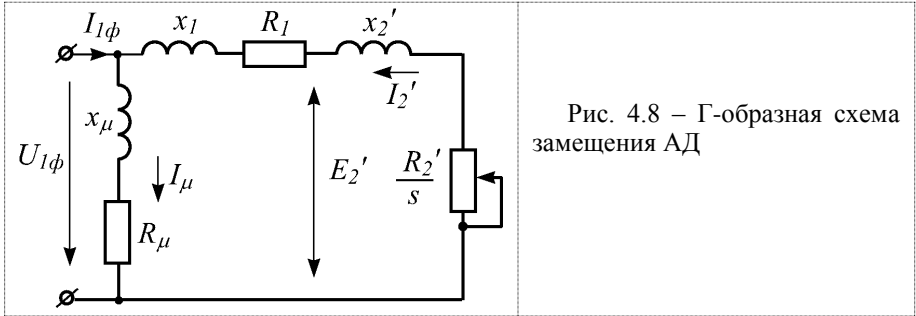
$R_1$  и  $R'_2$  – активное сопротивление фазы статора и ротора;

$R'_2/s$  – активное сопротивление, характеризующее на валу нагрузку и потери в обмотке ротора;



$I_2'$  – ток ротора, приведенный к обмотке статора;  
 $s$  – скольжение двигателя, равное  $s=(\omega_0-\omega)/\omega_0$ ;  
 $\omega$  – угловая скорость ротора,  $c^{-1}$ ;  
 $\omega_0$  – угловая синхронная скорость поля двигателя,  $c^{-1}$ ,  
 $\omega_0=2\pi f_1/p$ ;

где  $f_1$  – частота напряжения питающей сети, Гц;  
 $p$  – число пар полюсов двигателя.



Рассматриваемая схема замещения асинхронного двигателя дана при определенных допущениях. Ее параметры считаются не зависящими от режима работы, не учитывается насыщение магнитопровода, добавочные потери, а также влияние пространственных и временных высших гармонических составляющих намагничивающей силы обмоток статора и ротора. Для вывода уравнений механической и электромеханической характеристик рассмотрим баланс мощности в двигателе. Электрическая мощность, потребляемая АД из сети:

$$P_1 = m_1 U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi,$$

где  $m_1$  – число фаз;  $U_{1\phi}$  – фазное напряжение;  $I_{1\phi}$  – фазный ток.

Цепь  $x_\mu$ ,  $R_\mu$  характеризует магнитный поток, создаваемый обмоткой статора, и потери электрической энергии в двигателе, обусловленные потерями в статоре.

При прохождении тока в первичной цепи возникают потери:  $\Delta P_{эл1}$  – электрические,  $\Delta P_{маг1}$  – магнитные.

$$\Delta P_{эл1} = m_1 I_{1\phi}^2 R_1, \quad \Delta P_{маг1} = m_1 I_\mu^2 R_\mu = m_1 U_{1\phi}^2 / R_\mu.$$

Вычитая из  $P_1$  потери, находим мощность, передаваемую на ротор:

$$P_{эм} = P_1 - \Delta P_{эл1} - \Delta P_{маг1} = M \omega_o.$$

Здесь, как и ранее, считается, что электромагнитный момент

двигателя приблизительно равен моменту на его валу, т.е. не учитываются механические потери.

Мощность, передаваемую ротору, можно разделить на две составляющие: мощность, преобразуемую в механическую или полезную,  $P_2$  и мощность потерь в роторе – электрических  $\Delta P_{эл2}$ , механических  $\Delta P_{мех2}$  и добавочных  $\Delta P_{доб}$ . Первая составляющая может быть определена по уравнению:  $P_2 = M\omega = P_{эм} - \Delta P_{эл2} - \Delta P_{мех} - \Delta P_{доб}$ ,

где 
$$\Delta P_{эл2} = m_1 I_2'^2 R_2'$$

или через момент  $\Delta P_{эл2} = M(\omega_0 - \omega) = M\omega_0 s$ .

Для момента:  $M = 3I_2'^2 R_2' / \omega_0 s$ .

Студентам предлагается обсудить методику экспериментально-го определения составляющих потерь в асинхронном двигателе.

Для определения зависимости  $M(s)$  асинхронного двигателя необходимо знать характеристику  $I_2(s)$ . Из схемы замещения

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + x_{\kappa}^2}},$$

где  $x_{\kappa} = x_1 + x_2'$  – индуктивное сопротивление КЗ.

Последнее уравнение представляет собой электромеханическую характеристику АД  $I_2'(s)$ , так как скольжение  $s$  однозначно определяет значение скорости:  $\omega = \omega_0(1-s)$ .

На рис. 4.9 приведены электромеханические характеристики  $\omega = f(I_2')$  и  $\omega = f(I_1)$ .

Характерные точки электромеханической характеристики следующие:

1.  $s = 0$ ,  $\omega = \omega_0$ ,  $I_2' = 0$ ,  $I_1 = I_0$  – точка идеального холостого хода. Скорость ротора равна скорости вращения магнитного поля;

2.  $s = 1$ ,  $\omega = 0$ ,  $I_1 = I_{\kappa.з.} = I_n$  – точка короткого замыкания.

Момент пуска АД;

3.  $s_1 = -R_2'/R_1$ ,  $\omega_1 = \omega_0(1-s_1)$ ,  $I_2' = I_{\max} = U_{\phi} / x_{\kappa}$  – максимальное значение тока ротора, в области отрицательных скольжений;

4.  $s \rightarrow \pm\infty$ ,  $\omega \rightarrow \mp\infty$ ,  $I_2' \rightarrow I_{\infty} = U_{\phi} / \sqrt{R_1^2 + x_{\kappa}^2}$  – асимптотическое значение тока ротора при бесконечном увеличении скольжения и скорости.

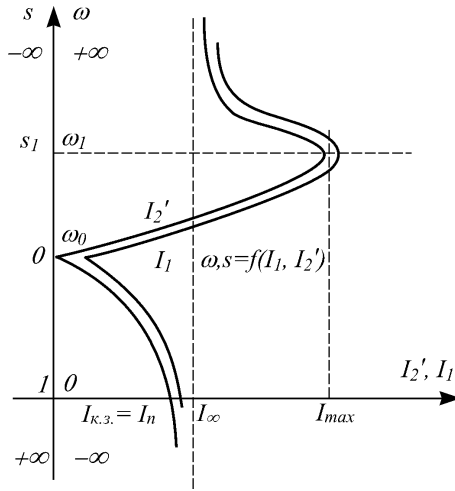


Рис. 4.9 – Электромеханическая характеристика АД

Выражение для механической характеристики:

$$M = 3U_{1\phi}^2 R_2' / \left( \omega_0 s \left[ (R_1 + R_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right] \right).$$

Это одна из форм записи механической характеристики  $M(s)$ . Анализ этого выражения показывает, что зависимость  $M(s)$  имеет максимум, так как при скольжении  $s = 0$  и  $s \rightarrow \pm\infty$ ,  $M \rightarrow 0$ .

$$s_K = \pm R_2' / \sqrt{R_1^2 + x_K^2}.$$

$$M_K = 3U_{1\phi}^2 / \left[ 2\omega_0 \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_K^2} \right) \right].$$

Более компактная запись механической характеристики

$$M = \frac{2M_K (1 + \alpha s_K)}{s/s_K + s_K/s + 2\alpha s_K},$$

где  $\alpha = R_1/R_2'$ .

Графическое построение механической характеристики представлено на рис. 4.10. Далее идет обсуждение характерных точек на механической характеристике АД.

Последняя формула позволяет по паспортным данным, которые обычно указываются в каталогах, рассчитать и построить механическую характеристику.

$$s_K = s_H \frac{\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1 + 2s_H(\lambda_M - 1)}}{1 - 2s_H(\lambda_M - 1)},$$

где  $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}$ ,  $M_n = P_n / \omega_n$  – номинальный момент,

$\lambda_M = M_k / M_n$  – кратность максимального или критического момента, это отношение называют также перегрузочной способностью двигателя.

В современных каталогах приводятся и другие паспортные данные:  $\lambda_n = M_n / M_n$  – кратность пускового момента;  $\lambda_{\min} = M_{\min} / M_n$  – кратность минимального момента.

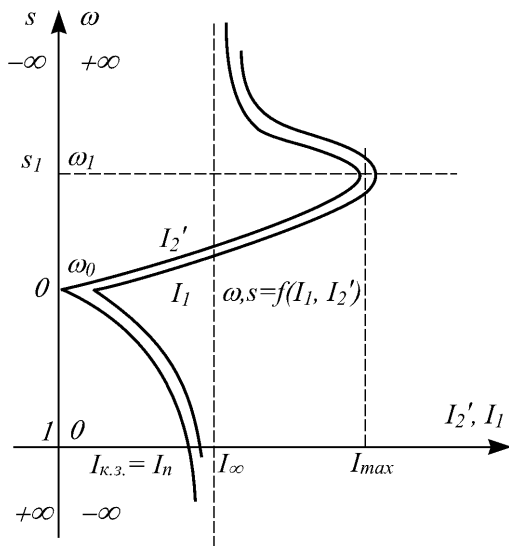


Рис. 4.10 – Механическая характеристика АД

Анализируя механическую характеристику АД, можно отметить следующие характерные точки:

1.  $s = 0$ ,  $\omega = \omega_0$ ,  $M = 0$ , при этом скорость двигателя равна синхронной частоте вращения магнитного поля;
2.  $s = s_n$ ,  $\omega = \omega_n$ ,  $M = M_n$ , что соответствует номинальной скорости и номинальному моменту;
3.  $s = s_{k.d.}$ ,  $\omega = \omega_{k.d.}$ ,  $M = M_{k.d.}$  – максимальный (критический) момент в двигательном режиме;
4.  $s = s_{k.z.}$ ,  $\omega = \omega_{k.z.}$ ,  $M = -M_{k.z.}$  – максимальный (критический) момент в генераторном режиме;
5.  $s = 1$ ,  $\omega = 0$ ,  $M = M_n$  – начальный пусковой момент.

Далее студентам поясняют основные тормозные режимы АМ:

генераторное торможение с рекуперацией энергии в сеть, динамическое торможение и торможение противовключением.

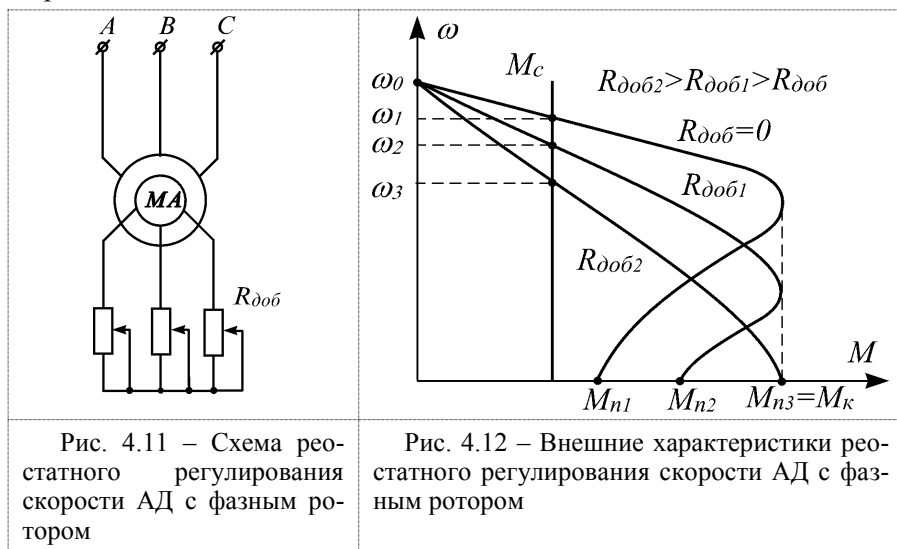
Студентам предлагается обсудить достоинства и недостатки этих тормозных режимов.

Большое значение при эксплуатации асинхронных двигателей является научное обоснование регулирования частоты вращения.

В этой связи необходимо напомнить основные способы регулирования: реостатное регулирование АД с фазным ротором, переключением числа пар полюсов, изменением напряжения на статоре, частотное регулирование.

### ***Реостатное регулирование скорости АД с фазным ротором***

Для АД с фазным ротором применяется регулирование скорости путем изменения сопротивлений в цепи ротора, как это показано на рис. 4.11 и 4.12.



Основным достоинством этого способа является простота реализации, что определило его широкое применение в ряде электроприводов.

1. Скорость идеального холостого хода не изменяется, т.е. все характеристики выходят из одной точки;

2. Максимальный (критический) момент двигателя  $M_k$  также остается неизменным;

3. Критическое скольжение увеличивается при увеличении  $R_{доб}$ .

Диапазон регулирования скорости АД небольшой  $D = 2 \div 3$ . Это определяется снижением жесткости характеристики и ростом потерь по мере увеличения диапазона регулирования.

Затраты, связанные с созданием данной системы электропривода, невелики, так как для регулирования обычно используются простые и дешевые резисторы. В то же время велики затраты при эксплуатации этой системы, поскольку присутствуют значительные потери энергии.

Электрические потери в роторной цепи  $\Delta P_2$ , называемые потерями скольжения, определяются выражением

$$\Delta P_2 = P_1 - P_2 = M \omega_0 - M \omega = M \omega_0 s = P_{1s}.$$

### **Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов**

Этот способ используется для регулирования скорости АД с короткозамкнутым ротором. Его принцип следует непосредственно из выражения для синхронной угловой скорости:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p.$$

Изменение числа пар полюсов  $p$  производится путем переключения обмотки статора. При этом число пар полюсов изменяется автоматически. Так как  $p$  может быть только целым числом, то данный способ обеспечивает лишь ступенчатое регулирование скорости.

Наибольшее применение получили схемы переключения обмоток статора, приведенные на рис. 4.13.

Допустимая мощность двигателя при соединении обмоток «треугольником»:

$$P_{\text{доп}\Delta} = 6 \frac{U_H}{2} I_H \cos \varphi_{1\Delta} = 3 U_H I_H \cos \varphi_{1\Delta},$$

а при соединении в «двойную звезду»:

$$P_{\text{доп}Y} = 6 \frac{U_H}{\sqrt{3}} I_H \cos \varphi_{1Y} = 3,46 U_H I_H \cos \varphi_{1Y}.$$

Сравнение последних выражений показало, что допустимая мощность изменяется на 15%, если принять, что  $\cos \varphi_{1\Delta} = \cos \varphi_{1Y}$  и пренебречь потерями в двигателе. Значение допустимого момента при увеличении скорости уменьшается (рис. 4.14, а).

Аналогичным образом можно рассматривать схему переключения полюсов при переходе двигателя со схемы соединения «звездой» на схему «двойная звезда» (рис. 4.13, в). При соединении по схеме «звезда» допустимая мощность:

$$P_{\text{дон}Y} = 6 \frac{U_H}{2\sqrt{3}} I_H \cos \varphi_{1Y} = \sqrt{3} U_H I_H \cos \varphi_{1Y},$$

по схеме «двойная звезда»

$$P_{\text{дон}YY} = 6 \frac{U_H}{\sqrt{3}} I_H \cos \varphi_{1YY} = \sqrt{3} U_H I_H \cos \varphi_{1YY}.$$

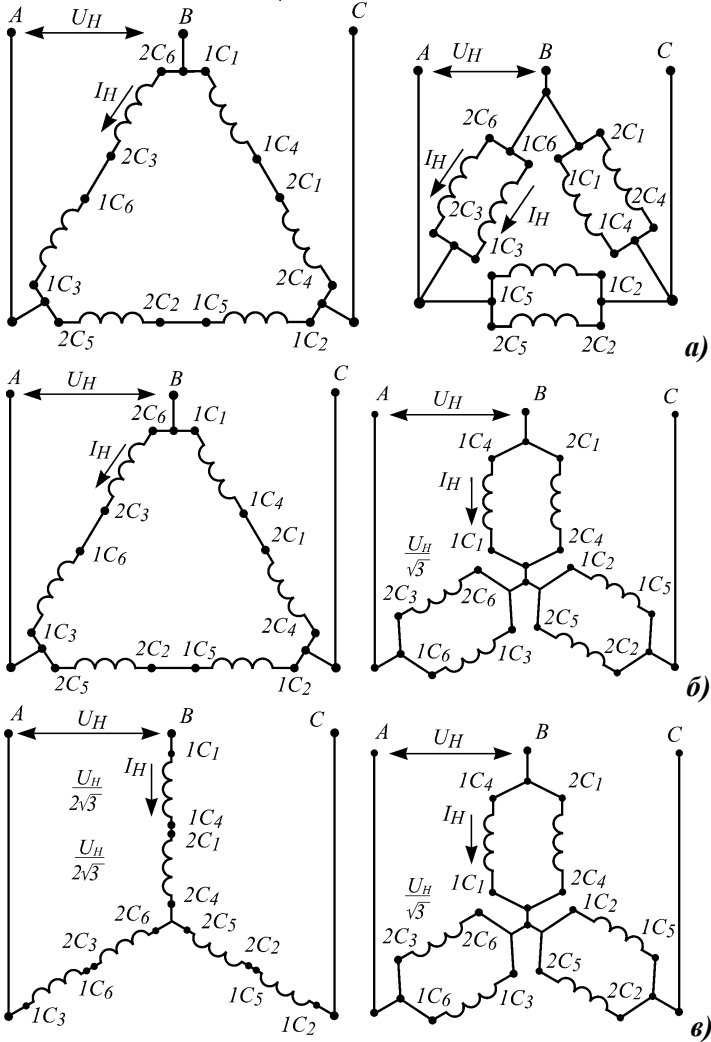


Рис. 4.13 – Схема переключения обмоток двигателя: **а)** – «треугольник» – «двойной треугольник», **б)** – «треугольник» – «двойная звезда», **в)** – «звезда» – «двойная звезда»

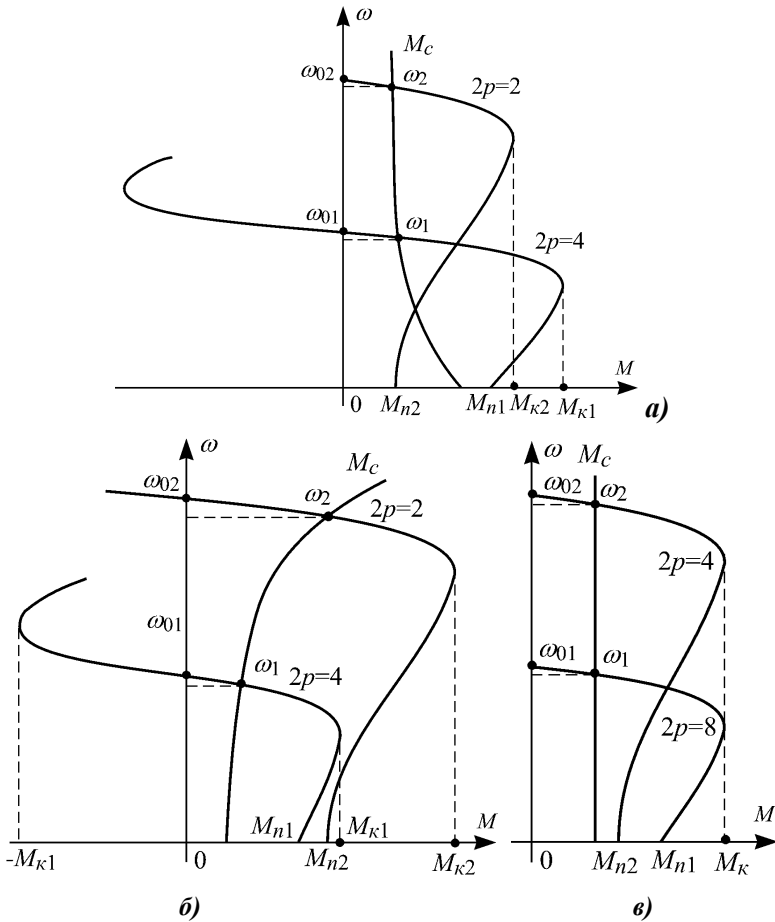


Рис. 4.14 – Внешние характеристики АД при различных схемах переключения полюсов

Принимая  $\cos \varphi_{1Y} = \cos \varphi_{1YY}$  и пренебрегая потерями, можно считать, что при увеличении скорости в два раза допустимая мощность возрастает тоже в два раза, а величина допустимого момента остается постоянной (рис. 4.14, в).

При переходе двигателя с «треугольника» на «двойной треугольник» (рис. 4.13, а) допустимая мощность:

$$P_{\text{дон}\Delta} = 6 \frac{U_n}{2} I_n \cos \varphi_{1\Delta} = 3U_n I_n \cos \varphi_{1\Delta},$$

$$P_{\text{дон}\Delta\Delta} = 6U_n 2I_n \cos \varphi_{1\Delta\Delta} = 12U_n I_n \cos \varphi_{1\Delta\Delta}.$$



Таким образом, при увеличении скорости в два раза мощность возрастает в 4 раза. Такие характеристики удобны для регулирования скорости центробежных насосов и вентиляторов (рис. 4.14, б). Рассмотренный способ регулирования экономичен, отличается весьма жесткими механическими характеристиками и находит широкое применение там, где не требуется плавного регулирования скорости.

### ***Регулирование скорости АД изменением питающего напряжения на обмотке статора***

Изменение напряжения на статоре асинхронного двигателя приводит к изменению критического момента, тогда как критическое скольжение остается постоянным (рис. 4.15)

$$M_{\kappa} = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_{\kappa}^2} \right]}.$$

Энергетические показатели при регулировании скорости асинхронного двигателя изменением напряжения приблизительно такие же, как и при изменении сопротивления в цепи статора. Со снижением скорости уменьшается КПД и коэффициент мощности привода.

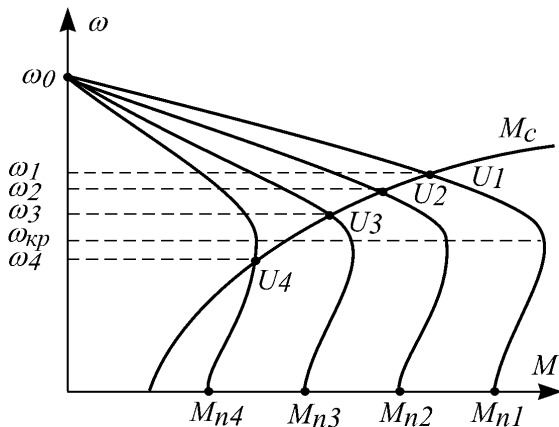


Рис. 4.15 – Механические характеристики АД при снижении напряжения

### ***Частотное регулирование скорости АД***

Частотное регулирование скорости значительно расширяет возможности асинхронных электроприводов в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, особенно в тех случаях, когда необходимо получить от механизма высокие угловые скорости, например, для центрифуг, шлифовальных станков и т.д.

Возможность изменения скорости АД при регулировании частоты  $f_1$  следует непосредственно из выражения  $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ , из которого видно, что синхронная скорость АД прямо пропорциональна частоте питающего напряжения. При регулировании частоты возникает также необходимость регулирования напряжения источника питания. Действительно, ЭДС обмотки статора АД пропорциональна частоте и потоку:  $E_1 = k\Phi f_1$ .

С другой стороны, пренебрегая в первом приближении падением напряжения на сопротивлениях обмотки статора, можно записать

$$U_1 \cong k\Phi f_1.$$

Для наилучшего использования АД при регулировании скорости изменением частоты необходимо регулировать напряжение одновременно в функции частоты и нагрузки.

Из всего многообразия зависимостей  $M_c(\omega)$  обычно рассматриваются три наиболее часто встречающиеся типа статических нагрузок (рис. 4.16):

1. Момент статической нагрузки не зависит от скорости. При этом (рис. 4.16, а):  $x=0$ ;  $M_c = const$  ( $M_c^* = 1$ ).

2. При регулировании скорости мощность на валу остается постоянной. При этом (рис. 4.16, б)

$$P_c = const; \quad x = -1; \quad M_c = \frac{P_0}{\omega} = \frac{M_n \omega_n}{\omega}; \quad M_{c_*} = \frac{1}{f_{1*}}.$$

3. Идеализированная вентиляторная нагрузка. В данном случае (рис. 4.16, в):  $x=2$ ;  $M_c = M_n(\omega/\omega_n)^2$ ;  $M_{c_*} = f_{1*}^2$ .

Для каждого типов статической нагрузки основной закон изменения напряжения при частотном регулировании следующий.

При постоянном моменте на валу:  $U_{1*} = f_{1*}$  или  $(U_1/f_1) = const$ , т.е. при постоянном моменте статической нагрузки напряжение источника питания должно изменяться пропорционально его частоте.

При постоянной мощности  $U_{1*} = \sqrt{f_{1*}^*}$  или  $(U_1/\sqrt{f_1}) = const$ , т.е. при постоянной мощности статической нагрузки напряжение источника питания должно изменяться пропорционально корню квадратному из значения частоты.

При вентиляторной нагрузке  $U_{1*} = f_{1*}^2$  или  $(U_1/f_1^2) = const$ , т.е. при вентиляторной нагрузке напряжение источника питания должно изменяться пропорционально квадрату значения частоты.

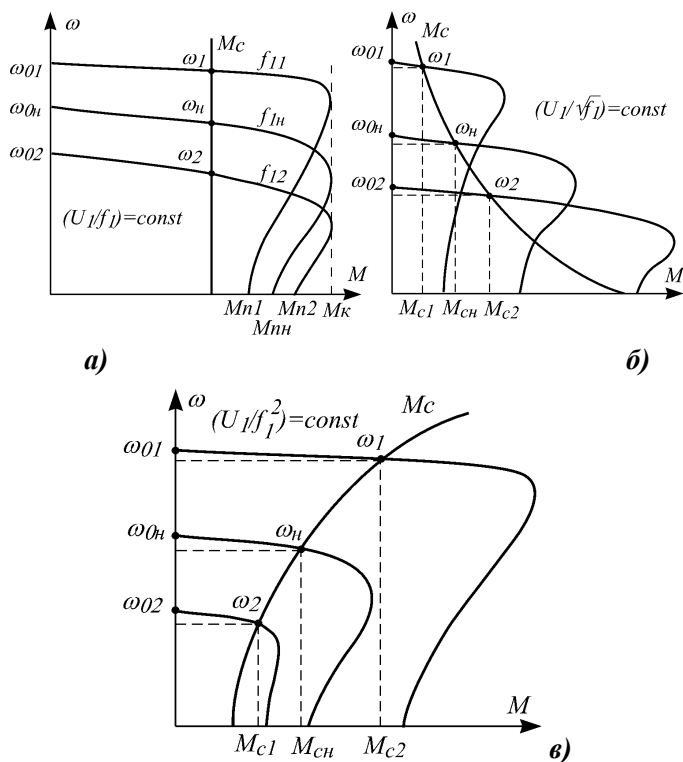


Рис. 4.16 – Механические характеристики АД при частотном регулировании скорости: **а)** при  $M_c = \text{const}$ ; **б)** при  $P_c = \text{const}$ ; **в)** при вентиляторной нагрузке

Современные средства микропроцессорной техники позволяют формировать сложные законы управления асинхронным двигателем, близкие по качеству регулирования момента, скорости и других величин к электроприводам с двигателями постоянного тока. Это становится возможным, если раздельно воздействовать на две составляющие статорного тока асинхронного двигателя: намагничивающую, определяющую значение магнитного потока двигателя, и ортогональную ей составляющую тока, определяющую момент двигателя, такое векторное представление составляющих тока для каждой фазы двигателя получило название векторного управления (рис. 4.17).

При использовании векторного управления достигаются следующие преимущества:

- высокая точность регулирования скорости даже при отсутствии датчика скорости;

- плавное вращение двигателя в области малых частот;
- возможность обеспечения номинального момента на валу при нулевой скорости (при наличии датчика скорости);
- быстрая реакция на изменение нагрузки: при резких скачках нагрузки практически не происходит скачков скорости;
- обеспечение такого режима работы двигателя, при котором снижаются потери на нагрев и намагничивание, а, следовательно, повышается КПД двигателя.

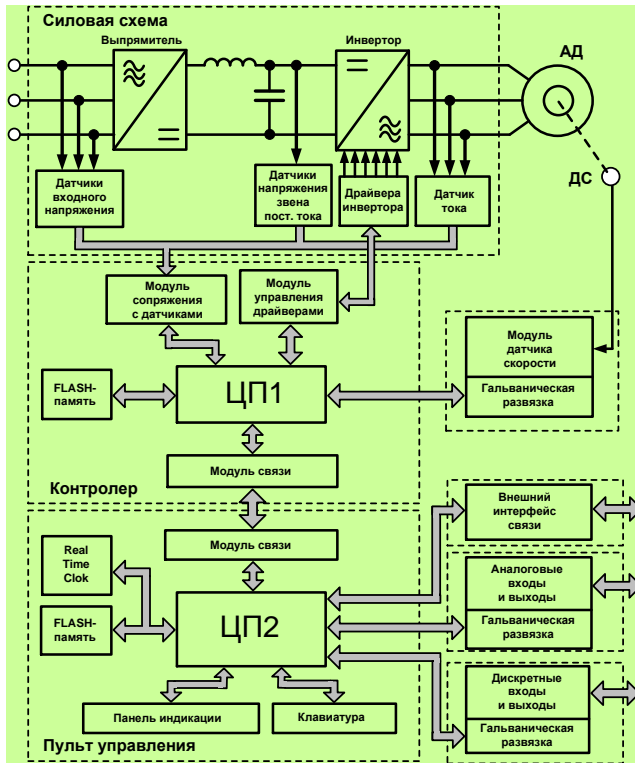


Рис. 4.17 – Структурная схема преобразователя частоты

В настоящее время большинство преобразователей строятся на двухпроцессорной основе. Первый процессор *ЦП1* выполняет основные функции преобразователей частоты (реализация алгоритмов управления инвертором, выпрямителем, опрос датчиков и т.д.), второй *ЦП2* обеспечивает работу пульта управления, связь с системой верхнего уровня и другие сервисные функции. Следует отметить, что распределение функций между микроконтроллерами может быть произведено и другим способом.

Далее студенты анализируют структурную схему ПЧ и по паспорту реального преобразователя частоты в лаборатории выполняют настройки преобразователя.

#### **4.3 Пример проведения практического занятия в интерактивной форме**

Тема занятия: **Выбор защиты электродвигателей от перегрева изоляции обмоток**

Цель занятия: формирование у студентов умения самостоятельно производить выбор защиты электродвигателей от перегрева изоляции обмоток. В качестве задач предлагается:

1. Выявить причины перегрева изоляции обмоток;
2. Определить основные типы защитной аппаратуры электродвигателей, их классификацию;
3. Научиться самостоятельно производить выбор аппаратуры защиты электродвигателя от перегрева изоляции обмоток.

Первоначально преподаватель сообщает порядок проведения занятия и рассматриваемые на занятии задачи. На это можно отвести 2-3 минуты.

Преподаватель	Студенты	Время, мин
Предлагает студентам назвать причины перегрева изоляции обмоток электродвигателя, возможные последствия	Называют	5-7
Предлагает студентам сформулировать понятие качества защиты	Предлагают варианты	5-7
Предлагает студентам сформулировать защитные характеристики, привести их классификацию	Предлагают варианты	7-10
Дает правильные формулировки, сравнивает с вариантами, предложенными студентами	Усваивают материал	10-15
Объясняет методику расчета и выбора защитной аппаратуры	Смотрят и слушают	10-15
Разбивает студентов на малые группы (2-5 чел.) или предлагает выполнять работу индивидуально. Озвучивает задание (выдаёт исходные данные либо представляет на экране)	Студенты получают задания, производят расчет и совместное обсуждение результатов	2-3 25-27

#### **4.4 Пример проведения семинара на тему: «Современные системы и элементы энергоэффективного электропривода»**

##### **Цель семинара:**

1. Закрепить знания по энергоэффективности современной серии электрических машин;

2. Сравнить режимы работы электроприводов и область их применения;

3. Дать возможность каждому студенту выбрать методику расчета режима работы электропривода;

4. По литературным источникам [8, 10, 60] выбрать рабочие машины соответствующие нагрузочным диаграммам, приведенным на рисунках 4.18 – 4.25.

Литература для самостоятельной работы и подготовке к семинару [10, 60, 72, 78].

Общая информация. Стандарт [31] устанавливает уровни показателей энергоэффективности (энергетических показателей): коэффициента полезного действия (КПД) и коэффициента мощности, а также методы их определения. Считается, что двигатели с нормальным КПД это двигатели общепромышленного назначения, КПД которых соответствует уровню, достигнутому в производстве двигателей серии АИ.

Двигатели с повышенным КПД (энергосберегающие двигатели) это двигатели общепромышленного назначения, у которых суммарные потери мощности не менее чем на 20 % меньше суммарных потерь мощности двигателей с нормальным КПД той же мощности и частоты вращения. КПД энергосберегающего двигателя  $\eta_s$ , %, при различных уровнях снижения суммарных потерь определяют по формуле

$$\eta_s = \frac{\eta}{100 - e(100 - \eta)} \cdot 100,$$

где,  $\eta$  - коэффициент полезного действия двигателя с нормальным КПД, %;

$e \geq 0,2$  – относительное снижение суммарных потерь мощности в двигателе, о. е.

Минимальные значения КПД энергосберегающего двигателя (для случая снижения суммарных потерь мощности в двигателе на 20 %, т.е. при  $e = 0,2$ ),  $\eta_{эм}$ , %, определяют по формуле

$$\eta_{эм} = \frac{\eta}{80 + 0,2\eta} \cdot 100,$$

Асинхронные двигатели – основные потребители энергии в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, ЖКХ. На их долю приходится около 60% всех энергозатрат в названных отраслях. Такая структура энергопотребления существует во всех промышленно развитых странах, в связи с чем они активно переходят на эксплуатацию электродвигателей повышенной энергоэффективности, использование таких двигателей становится обязательным.

В России выпускаются энергоэффективные двигатели общепромышленного назначения в двух классах энергоэффективности, применяемых в Европе и Америке: **IE1** и **IE2** по ЕС 60034-30 с возможностью модификации в класс энергоэффективности «Premium» (**IE3**), внедряемый сегодня в США.

Энергоэффективная серия **7AVE** создана с применением российского стандарта ГОСТ Р 51689-2000, вариант **I**, и европейского стандарта CENELEC, IEC 60072-1, что позволит устанавливать новые энергосберегающие электродвигатели как на отечественное оборудование, так и на импортное, где в настоящее время используются двигатели иностранного производства.

Серия **7AVE** предусматривает повышение КПД от 1,1% (старшие габариты) до 5% (младшие габариты) и охватывает самый востребованный диапазон мощностей от 1,5 до 500 кВт. Создание серии двигателей серии **7AVE** гармонизируется и с таким важнейшим направлением в деле энергосбережения, как разработка двигателей для частотно-регулируемого электропривода, поскольку энергоэффективный двигатель обладает лучшими регулировочными свойствами, в частности, большим запасом по максимальному моменту.

Особенности конструкции двигателей серии **7AVE**: увеличена эффективность использования магнитных материалов, жесткость системы. Новое оборудование и пропиточные лаки обеспечили высокую цементацию обмотки и высокую теплопроводность.

Двигатели новой серии обладают низкими шумовыми характеристиками (на 3 – 7 дБ ниже, чем у двигателей предыдущей серии), т.е. более эргономичны. Снижение уровня шума на 10 дБ означает снижение его фактического значения в 3 раза.

Двигатели **7AVE** обладают более высокими показателями надежности за счет снижения рабочих температур. Данные двигатели изготавливаются с классом нагревостойкости «F», при фактических

температурах, соответствующих более низкому классу изоляции «В». Это позволяет работать машинам с повышенным значением сервис фактора, т.е. обеспечить надежную работу при длительных перегрузках на 10 – 15%.

Двигатели серии **7AVE** (IE2, IE3) адаптированы к работе в составе частотно- регулируемого электропривода. За счет высокого сервис фактора двигатели могут работать в составе ЧРП без принудительной вентиляции.

Структура обозначения двигателей 7 серии:

**7A V E R 160 S A 2**

1 2 3 4 5 6 7 8

1 – Обозначение серии;

2 – Разработка предприятий Группы компаний «ВЭМЗ», г. Владимир;

3 – Энергоэффективные;

4 – R / C - привязка по варианту I / по варианту II по ГОСТ Р 51689;

5 – Габарит (высота оси вращения, мм);

6 – Установочный размер по длине станины;

7 - Обозначение длины пакета магнитопровода;

8 – Число полюсов.

По нагрузочным диаграммам (рис. 4.18 – 4.25) сравнить режимы работы электроприводов и область их применения. На диаграммах  $M$  – нагрузка на валу двигателя,  $\Delta P_m$  – мощность тепловых потерь,  $\theta$  - превышение температуры двигателя.

### ***Номинальные режимы работы электродвигателей***

Под номинальным режимом работы электрической машины понимается режим, для которого она предназначена предприятием- изготовителем. Для этого режима в каталогах и паспорте двигателя указываются: номинальная полезная механическая мощность на валу, Вт, кВт или МВт; номинальное напряжение, В, кВ (в том числе номинальное напряжение системы возбуждения, номинальное напряжение ротора АД с контактными кольцами); номинальный ток, А, кА (в том числе ток возбуждения, ток ротора); номинальная частота вращения, об/мин (или номинальная угловая скорость, рад/с); номинальный КПД, %; номинальный коэффициент мощности.

В соответствии с ГОСТом установлено восемь номинальных режимов работы электрических машин, которые имеют условные обозначения **SI – S8** и определяются следующим образом.



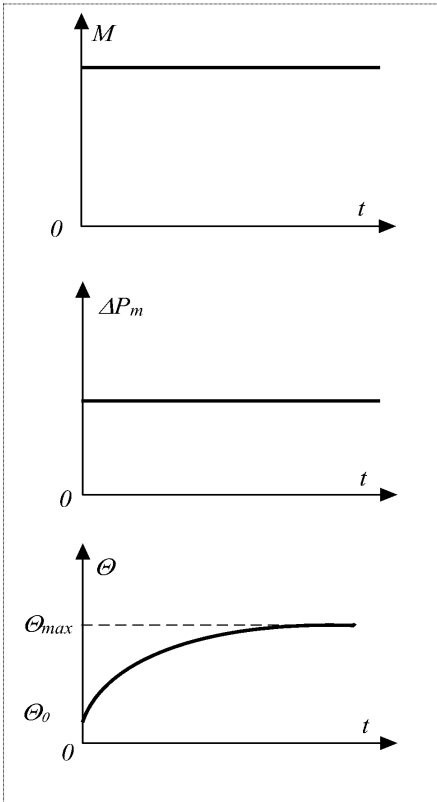


Рис. 4.18 – Продолжительный режим работы *S1*

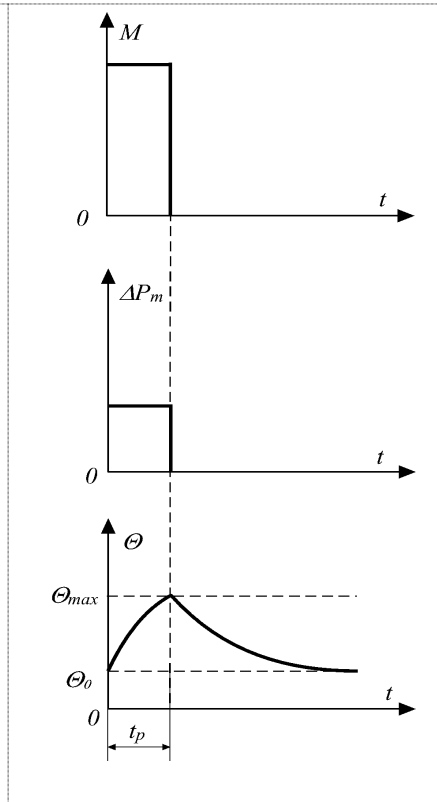


Рис. 4.19 – Кратковременный режим работы *S2*

***S1 – Продолжительный режим работы*** – работа при постоянной нагрузке, достаточно длительная для достижения теплового равновесия, т.е. температура всех частей электрической машины, достигает установившегося значения. Соответствующие этому режиму диаграммы изменения нагрузки  $M$  (полезного механического момента на валу двигателя), мощности тепловых потерь  $\Delta P_T$  и температуры  $\theta$  показаны на рис. 4.18.

***S2 – Кратковременный режим работы*** – работа при постоянной нагрузке в течение заданного времени, меньшего, чем требуется для получения теплового равновесия, с последующим отключенным неподвижным состоянием, имеющим достаточную продолжительность для достижения машиной температуры окружающей среды.

Характеризующей величиной является продолжительность кратковременной работы. Определяются следующие значения продолжительности кратковременной работы: 10, 30, 60 и 90 мин.

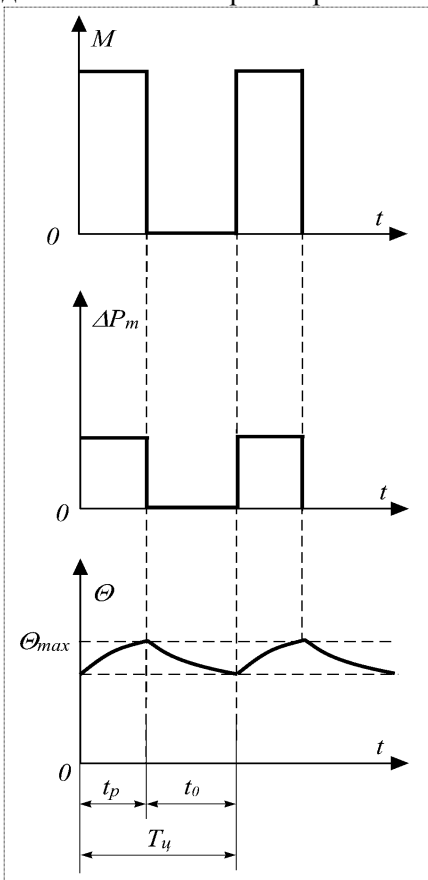


Рис. 4.20 – Периодический повторно-кратковременный режим работы *S3*

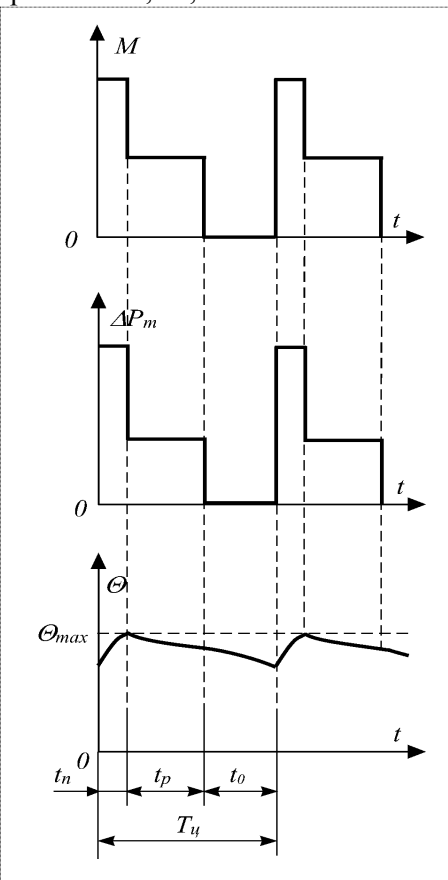


Рис. 4.21 – Периодический повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов *S4*

***S3*** – **Периодический повторно-кратковременный режим работы** – последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время работы при неизменной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды. При этом потери при пуске не оказывают влияния на температуру частей машины.

Для режима **S3** характеризующей величиной является относительная продолжительность работы

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_p}{T_u} \cdot 100\% ,$$

где  $t_p$  – период работы при номинальных условиях;  
 $t_0$  – период отключенного неподвижного состояния (паузы);  
 $T_u$  – продолжительность цикла.

Определяются следующие значения относительной продолжительности работы: 15, 25, 40 и 60%. Продолжительность одного цикла, если нет других указаний, принимается равной 10 мин.

**S4 – Периодический повторно - кратковременный режим с влиянием пусковых процессов** – последовательность идентичных режимов работы, каждый из которых включает время пуска, время работы при постоянной нагрузке, за которое двигатель не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое двигатель не охлаждается до температуры окружающей среды.

Для этого режима работы характеризующими величинами являются: относительная продолжительность включения, число включений в час, коэффициент инерции и постоянная кинетической энергии.

$$ПВ_{S4} = \frac{t_n + t_p}{t_n + t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_n + t_p}{T_u} \cdot 100\% ;$$

где  $t_n$  – время пуска.

Продолжительность цикла находится по формуле

$$T_u = 3600 / z , \text{ с,}$$

где  $z$  – число включений (циклов) в час.

Под коэффициентом инерции понимается отношение суммы момента инерции двигателя и приведенного к валу двигателя момента инерции механизма к моменту инерции двигателя

$$k_J = \frac{J_{дв} + J_{пр.мех}}{J_{дв}} = \frac{J_{\Sigma}}{J_{дв}} .$$

Повторно-кратковременный режим **S4** определяет эксплуатацию машины с частыми пусками, при которых длительность одного цикла определяется числом включений в час: 30, 60, 120 или 240 при определенном коэффициенте инерции  $k_J$ , равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3 или 10.

В условном обозначении режима указывается продолжительность включения в процентах, число включений в час и коэффициент инерции, например,  $S4 - 25\%$ , 120 включений в час,  $k_J - 2,0$ . Это означает, что двигатель при коэффициенте инерции  $k_J = 2,0$  рассчитан на работу при 120 включениях в час, длительность каждого цикла составляет  $60/120 = 0,5$  мин, из которых время пуска и время работы составляет 25%, т.е. 7,5 с, а время паузы – 22,5 с.

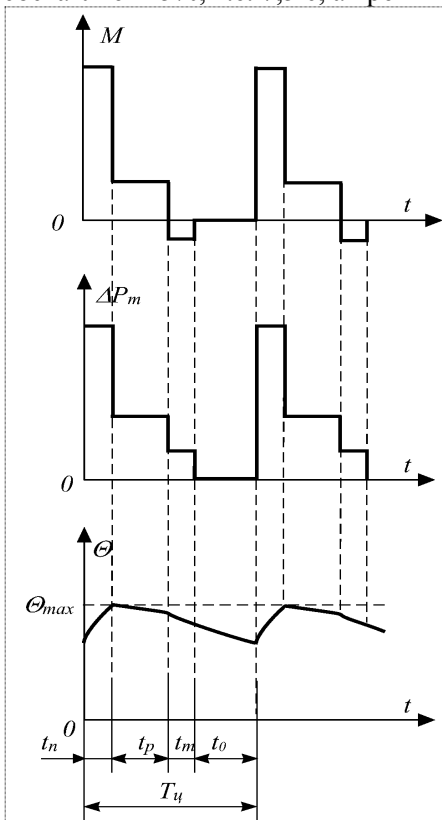


Рис. 4.22 – Периодический повторно- кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением  $S5$

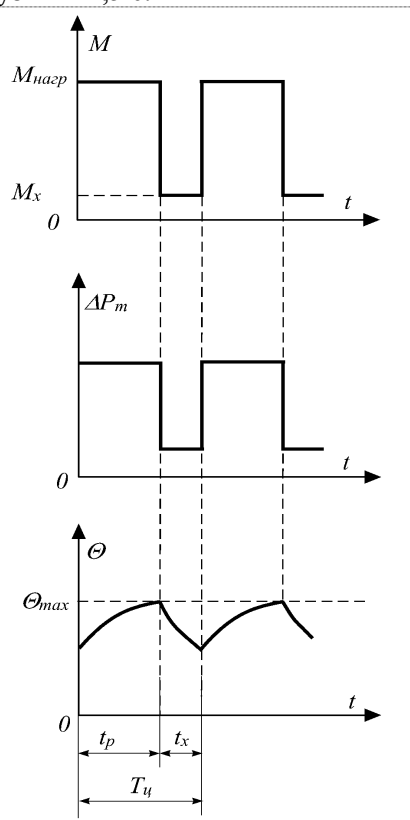


Рис. 4.23 – Перемежающийся режим работы  $S6$

***S5*** – ***Периодический повторно- кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением*** - режим, включающий в себя ***те же элементы***, что и  $S4$  с дополнительным периодом быстрого электрического торможения.

Для режима **S5** характеризующими величинами также являются: относительная продолжительность включения, число включений в час, коэффициент инерции и постоянная кинетической энергии.

Для режима **S5**

$$ПВ_{S5} = \frac{t_n + t_p + t_m}{t_n + t_p + t_m + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_n + t_p + t_m}{T_u} \cdot 100\% ,$$

где  $t_n$  и  $t_m$  – периоды соответственно пуска и торможения.

Для режима работы **S5** определяются следующие значения величин:  $ПВ = 15, 25, 40$  и  $60\%$ ;  $z = 30, 60, 90, 120, 180, 240$  и  $360$  вкл./ч;  $k_J - 1,2; 1,6; 2; 2,5$  и  $4$ .

В условном обозначении режима указывают продолжительность включения, %, число включений в час и коэффициент инерции, например **S5** –  $40\%$ ,  $60$  включений в час,  $k_J - 1,2$ .

**S6 – Перемежающийся режим работы** – последовательность идентичных рабочих циклов, каждый из которых состоит из периодов работы при постоянной нагрузке и на холостом ходу; длительность этих периодов недостаточна для достижения теплового равновесия за время одного рабочего цикла. Характеризующей величиной является продолжительность работы

$$ПР = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} \cdot 100\% = \frac{t_p}{T_u} \cdot 100\% ,$$

где  $t_{xx}$  – период работы на холостом ходу электропривода.

Продолжительность работы с неизменной нагрузкой определяется в процентах длительности одного цикла –  $15, 25, 40$  или  $60\%$ . Продолжительность одного цикла, если нет других указаний, принимается равной  $10$  мин.

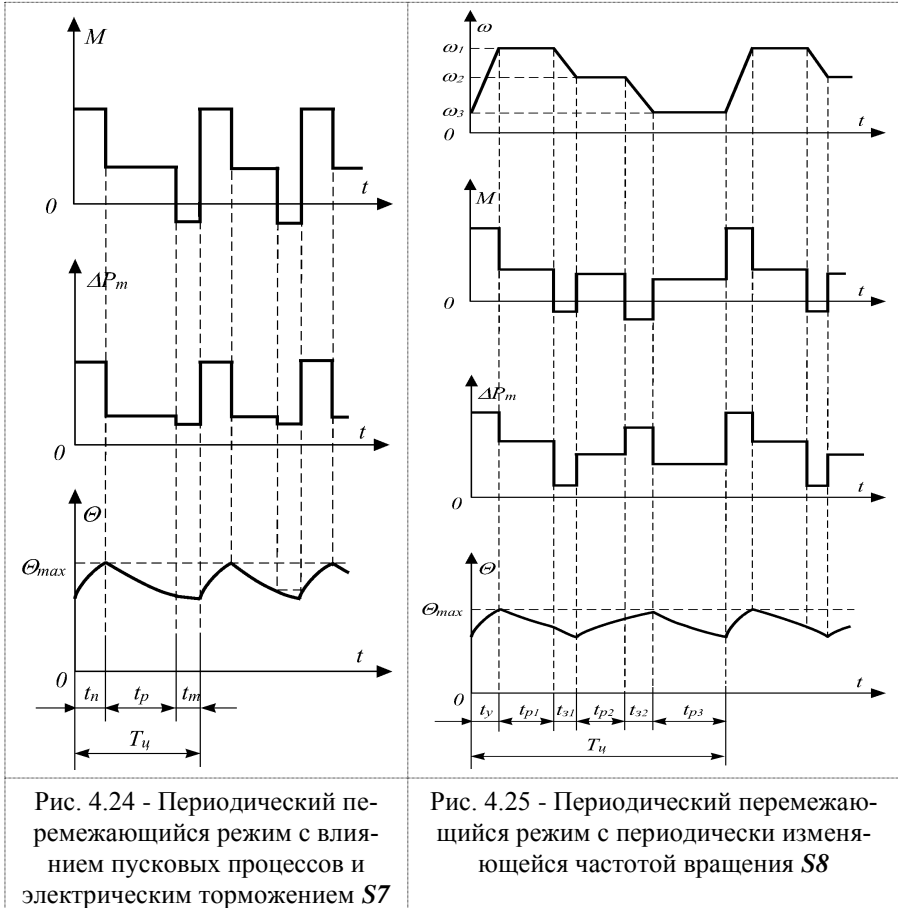
В условном обозначении режима указывается  $ПР$  в процентах, например **S6** –  $40\%$ .

**S7 – Периодический перемежающийся режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением** – последовательность идентичных рабочих циклов, каждый из которых состоит из периодов пуска, работы при постоянной нагрузке и электрического торможения; длительность рабочего периода недостаточна для достижения теплового равновесия за время одного цикла.

Для режима работы **S7** характеризующими величинами являются: число включений в час, коэффициент инерции и постоянная кинетической энергии. Определяются следующие значения величин:

$z = 30, 60, 90, 120, 180, 240$  и  $360$  вкл./ч;  $k_J - 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4$ .

Из-за малой длительности неизменной нагрузки потери в пусковые периоды и во время реверсов оказывают существенное влияние на нагрев частей двигателя. В условном обозначении указываются число включений в час и коэффициент инерции, например **S7** – 120 включений в час,  $k_J - 2,5$ .



**S8** – *Периодический перемежающийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения* – последовательность идентичных рабочих циклов, каждый из которых состоит из периодов ускорения, работы при постоянной нагрузке, соответствующей заданной частоте вращения, затем одного или нескольких периодов работы при других постоянных значениях нагрузки, соответствующим

щих другим частотам вращения; длительность каждого рабочего периода недостаточна для достижения теплового равновесия за время одного рабочего цикла.

Для режима работы **S8** характеризующими величинами являются число включений в час, относительная продолжительность работы (*ПП*) для каждой внешней нагрузки и соответствующей ей частоты вращения, а также коэффициент инерции и постоянная кинетической энергии. Относительная продолжительность работы в данном случае для каждой из нагрузок определяется по формуле

$$ПП_j = \frac{t_{n.nj} + t_{pj}}{T_u} \cdot 100\% ,$$

где  $t_{pj}$  – период работы при постоянной  $j$ -й нагрузке;

$t_{n.nj}$  – период переходного процесса (ускорения или замедления) при переходе к  $j$ -му значению частоты вращения (угловой скорости) и соответствующей ей нагрузке.

Например, для диаграммы на рис. 4.25:

$$ПП_1 = \frac{t_y + t_{p1}}{t_y + t_{p1} + t_{z1} + t_{p2} + t_{z2} + t_{p3}} \cdot 100\% = \frac{t_y + t_{p1}}{T_u} \cdot 100\% ;$$

$$ПП_2 = \frac{t_{z1} + t_{p2}}{T_u} \cdot 100\% ; \quad ПП_3 = \frac{t_{z2} + t_{p3}}{T_u} \cdot 100\% .$$

Для режима работы **S8** определяются следующие значения величин:  $z = 30, 60, 90, 120, 180, 240$  и  $360$  вкл./ч;  $k_j = 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4$ ;  $ПП = 15, 25, 40$  и  $60\%$ .

В условном обозначении режима указываются число включений, коэффициент инерции, нагрузка, соответствующая каждой из частот вращения, и ее относительная продолжительность в процентах от общей длительности цикла. Примеры обозначений: **S8** – 60 вкл./час;  $k_j = 2,0$ ; 22 кВт; 740 об/мин; 40%; 55 кВт; 1470 об/мин; 60%.

По [12, 45] и индивидуальным вариантам студенты выбирают рабочие машины соответствующие нагрузочным диаграммам (рис. 4.1 – 4.8). Выполняют расчет и выбирают двигатель **АИР** и энерго-сберегающий серии **7AVE**. Рассчитывают потребляемую энергию этими двигателями за 24 часа работы, и идет обсуждение достоинства **7AVE** для конкретного производства и отрасли в целом.

#### **4.5 Пример проведения методики «мозговой штурм» создания стенда для исследования и испытания электроприводов**

##### **Цель «мозгового штурма»:**

1. Для рассмотренных в предыдущей главе режимов работы электроприводов и нагрузочных диаграмм разработать методику и стенд для исследования и испытания.

##### **Этапы занятия.**

1. На портале Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [<http://www.fips.ru/>] в информационно-поисковой системе определить: раздел, класс, подкласс и группу устройства для исследования и испытания ЭП.

2. Выполняется поиск известных и существующих способов и устройств исследования и испытания ЭП.

3. На первом этапе проведения «мозгового штурма» участники высказывают по очереди любые предложения, в точной и краткой форме; ведущий записывает все предложения (на доске, плакате) без критики их практической применимости.

4. На втором этапе проведения «мозгового штурма» высказанные предложения обсуждаются. Группе необходимо найти возможность применения любого из высказанных предложений или наметить путь его усовершенствования. На данном этапе возможно использование различных форм дискуссии.

5. На третьем этапе проведения «мозгового штурма» группа представляет презентацию результатов по оговоренному принципу:

- самое оптимальное решение;
- несколько наиболее удачных предложений;
- самое необычное решение и т.п.

Для проведения «мозгового штурма» возможно деление участников на несколько групп:

- генераторы идей, которые высказывают различные предложения, направленные на разрешение проблемы;
- критики, которые пытаются найти отрицательное свойство в предложенных идеях;
- аналитики, которые будут привязывать выработанные предложения к конкретным реальным условиям с учетом критических замечаний, и др.

##### **Пример реализации «мозгового штурма»**

1. Определен класс международной патентной классификации: МПК: **G01K 31/34**.



2. Название изобретения: *Стенд для исследования и испытания электроприводов*

3. Область техники, к которой относится изобретение: Изобретение относится к электротехнике, а именно к испытательной технике и электрооборудованию, в частности к электроприводам.

4. Уровень техники – приводят сведения об известных аналогах изобретения с выделением наиболее близкого в качестве прототипа.

Известна станция для испытания электрических машин, содержащая блок управления с измерительными приборами и датчиками, связанными с ПЭВМ, а также основание для крепления испытуемых электрических машин с блоками питания и нагрузки [69]. Основными контролируемыми параметрами испытуемых электродвигателей являются ток, напряжение и частота вращения, а также температура обмоток электрических машин при различной нагрузке.

Недостатком стенда является малая функциональная возможность для исследования и испытания электроприводов с системой защиты и невозможность регистрации измеряемых параметров и характеристик.

Известен также стенд для испытания и исследования характеристик асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки, содержащий испытуемый электродвигатель, электромагнитный тормоз и систему электроизмерительных приборов [70].

Недостатком стенда является недостаточная функциональная возможность при проведении исследования характеристик электроприводов и невозможность измерения и регистрации отдельных параметров, потери мощности при испытаниях, затрачиваемой на генератор, отсутствие возможности плавного регулирования и создания импульсно- переменной нагрузки на двигатель.

Известен стенд с электромагнитным нагрузочным модулем для измерения и исследования приводных характеристик электродвигателей [71] (прототип).

Известный стенд для исследования и испытания электроприводов содержит испытуемый электродвигатель с датчиками частоты вращения и температуры, соединенный механически с электромагнитным нагрузочным модулем, состоящим из тормозящего диска с электромагнитами, датчика угла поворота электромагнитного нагрузочного модуля и установленный совместно с системой нагрузки на одной раме, пускозащитной и измерительной аппаратурой. Модели-

рование различных режимов питающей сети производится с помощью регулятора напряжения.

Недостатком стенда является малая функциональная возможность при проведении исследования характеристик электроприводов и невозможность измерения и регистрации отдельных параметров на разной частоте питающего тока и напряжения, так как при снижении напряжения момент асинхронного двигателя снижается пропорционально квадрату напряжения, отсутствие возможности плавного регулирования частоты вращения вала исследуемого двигателя в широком диапазоне и создания импульсно- переменной нагрузки на валу двигателя для основных режимов работы электрических машин.

Техническим результатом изобретения является расширение функциональных возможностей стенда для исследования и испытания электроприводов в основных режимах электрических машин, в том числе и многоскоростных, с обеспечением плавной регулировки и создания импульсно- переменной нагрузки на валу испытываемого электродвигателя, снижение потерь мощности, затрачиваемой при испытаниях, а также обеспечение возможности фиксации и записи измеряемых параметров и характеристик.

Технический результат изобретения достигается тем, что стенд для исследования и испытания электроприводов, содержащий испытуемый электродвигатель с датчиками частоты вращения и температуры, соединенный механически с электромагнитным нагрузочным модулем, состоящим из тормозящего диска с электромагнитами, датчика угла поворота электромагнитного нагрузочного модуля и установленный совместно с системой нагрузки на одной раме, пускозащитной и измерительной аппаратурой, согласно изобретению имеет программируемый контроллер с пропорционально- интегрально- дифференциальным (ПИД) регулятором, преобразователь частоты, измерительный комплект и испытуемый электродвигатель, соединенный обмотками статора с сетью через измерительный комплект, автоматический выключатель и преобразователь частоты с двумя входами, соединенными с одной стороны с датчиком температуры, установленном на корпусе электродвигателя, а с другой стороны с программируемым контроллером, имеющим панель ввода данных режима питания электромагнитов нагрузочного модуля и режима управления преобразователем частоты, при этом измерительный комплект, например, «Ресурс- 2М», включен между выходом преобразователя частоты и обмотками статора испытуемого электродвигателя.

теля, а программируемый контроллер с ПИД- регулятором двумя входами соединен с датчиком частоты вращения испытуемого электродвигателя и с датчиком угла поворота вторичного поворотного вала электромагнитного нагрузочного модуля и двумя выходами, первый из них соединен с преобразователем частоты для управления его режимом работы, а второй с электромагнитами электромагнитного нагрузочного модуля для имитации нагрузки стандартных режимов работы электроприводов и формирования нагрузочных диаграмм: **S1** – продолжительный режим работы, **S2** – кратковременный режим работы, **S3** – периодический повторно-кратковременный режим работы, **S4** – периодический повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов, **S5** – периодический повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением, **S6** – перемежающийся режим работы, **S7** – периодический перемежающийся режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением, **S8** – периодический перемежающийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения.

Новизна заявляемого предложения обусловлена тем, что стенд для исследования и испытания электроприводов имеет программируемый контроллер с пропорционально- интегрально- дифференциальным (ПИД) регулятором, преобразователь частоты, измерительный комплект и испытуемый электродвигатель соединенный обмотками статора с сетью через измерительный комплект, автоматический выключатель и преобразователь частоты с двумя входами, соединенными с одной стороны с датчиком температуры, установленном на корпусе электродвигателя, а с другой стороны с программируемым контроллером, имеющим панель ввода данных режима питания электромагнитов нагрузочного модуля и режима управления преобразователем частоты, при этом измерительный комплект, например, «Ресурс-2М», включен между выходом преобразователя частоты и обмотками статора испытуемого электродвигателя, а программируемый контроллер с ПИД- регулятором двумя входами соединен с датчиком частоты вращения испытуемого электродвигателя и с датчиком угла поворота вторичного поворотного вала электромагнитного нагрузочного модуля и двумя выходами, первый из них соединен с преобразователем частоты для управления его режимом работы, а второй с электромагнитами электромагнитного нагрузочного модуля для имитации нагрузки стандартных режимов работы электроприводов и формирования нагрузочных диаграмм.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на рис. 4.26 приведена функциональная схема стенда для исследования и испытания электроприводов; на рис. 4.1 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S1*; на рис. 4.2 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S2*; на рис. 4.3 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S3*; на рис. 4.4 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S4*; на рис. 4.5 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S5*; на рис. 4.6 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S6*; на рис. 4.7 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S7*; на рис. 4.8 - нагрузочная диаграмма для режима работы *S8*.

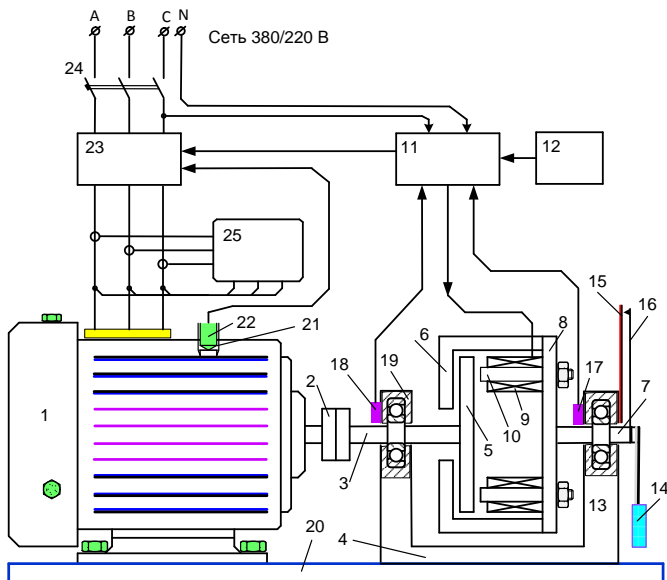


Рис. 4.26 – Функциональная схема стенда для исследования и испытания электроприводов

Стенд (рис. 4.26) содержит испытуемый электродвигатель 1, вал которого через соединительную муфту 2 соединен с первичным валом 3 электромагнитного нагрузочного модуля 4, на котором закреплен плоский стальной диск 5, являющийся составной частью общего магнитопровода 6 нагрузочного модуля 4, на вторичном поворотном валу 7 закреплен тормозящий диск 8 с электромагнитной системой, содержащей восемь электромагнитов 9 с сердечниками 10, расположенными и закрепленными симметрично по окружности тормозяще-

го диска 8 и получающими питание от программируемого контроллера 11 с двумя входами и двумя выходами, имеющего панель 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователем частоты.

На вторичном поворотном валу 7, установленном на первой стойке 13 электромагнитного нагрузочного модуля 4, закреплен откалиброванный противовес 14 с тарированной шкалой 15 и указателем момента сопротивления 16, а также датчик угла поворота 17 вторичного поворотного вала 7, соединенный со вторым входом программируемого контроллера 11. Датчик 18 частоты вращения вала электродвигателя 1 и первичного вала 3 установлен на второй стойке 19 электромагнитного нагрузочного модуля 4 и соединен с первым входом программируемого контроллера 11.

Испытуемый электродвигатель 1 закрепляют на платформе 20, а для контроля температуры нагрева в гнездо рым-болта электродвигателя 1 ввинчивают полый болт 21, имеющий в торце нижней части термодатчик 22, который соединен с первым входом преобразователя частоты 23, второй вход которого соединен с выходом программируемого контроллера 11.

Испытуемый электродвигатель 1 получает питание от сети переменного тока 380/220 В через автоматический выключатель 24, выполняющий функции защиты от перегрузки и токов короткого замыкания, преобразователь частоты 23, управляемый сигналом от программируемого контроллера 11, измерительный комплект 25. Программируемый контроллер 11 и через него катушки электромагнитов 9 также получают питание от сети переменного тока 380/220 В через автоматический выключатель 24.

Стенд позволяет проводить испытание асинхронных двигателей на стандартную частоту тока 50 или 60 Гц, многоскоростных электродвигателей и их испытание при регулируемой частоте и регулируемому напряжению.

Измерительный комплект 25, входящий в состав стенда, например, «Ресурс - 2М» или аналогичный анализатор AR-5, позволяет измерять и записывать на внутреннем или внешнем накопителе информацию электрических параметров испытуемого электродвигателя: напряжение питания, потребляемый ток по фазам, мощность активную, реактивную и полную, коэффициент мощности, частоту тока, гармонические составляющие напряжения и тока. Эти данные копи-

руются на компьютер, хранятся и обрабатываются в соответствии с задачами исследования.

Датчик угла поворота 17 вторичного поворотного вала 7 преобразует величину тормозного момента, создаваемого противовесом 14 посредством тормозного диска 8 с электромагнитной системой, в электрический сигнал, пропорциональный этому моменту. Причем этот сигнал может быть аналоговым или дискретным в зависимости от конструкции датчика 17.

Программируемый контроллер 11 с панелью 12 ввода данных имеет встроенный пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор с выходным током нагрузки, достаточным для управления электромагнитами 9 электромагнитного нагрузочного модуля 4 и два входа для реализации обратной связи по частоте вращения вала двигателя от датчика частоты вращения 18 и обратной связи по тормозному моменту от датчика угла поворота 17.

Преобразователь частоты 23 с векторным управлением, встроенной системой динамического торможения и входом для подключения температурного датчика 22 и реализации защиты от превышения температуры.

#### *Стенд работает следующим образом*

Испытуемый электродвигатель 1 закрепляют на платформе 20, а затем при помощи муфты 2 соединяют вал электродвигателя 1 с первичным валом 3 электромагнитного нагрузочного модуля 4.

На испытуемом электродвигателе 1 устанавливают съемный датчик температуры 22, ввинчивая полый болт 21 в гнездо рым-болта корпуса электродвигателя. В соответствии с программой испытания и методикой программируют контроллер 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима работы преобразователя частоты 23. Настраивают преобразователь частоты 23 на мощность испытуемого электродвигателя и частоту тока 50 или 60 Гц, температуру срабатывания защиты, и выбирают пределы измерения по току, напряжению, мощности на измерительном комплексе 25 в зависимости от мощности испытуемого двигателя.

После установки, проверки соединений всех элементов схемы испытуемого электрооборудования и измерительных средств, приступают к проведению испытаний.

Испытание режима *SI* – продолжительный режим работы (режим работы электрических машин с нагрузкой и продолжительно-

стью, достаточной для достижения практически установившегося теплового состояния, рис. 4.18).

На программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задается ток электромагнитов, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента для испытуемого электродвигателя и время его работы. Номинальный момент электродвигателя (ЭД) определяется по паспортным данным

$$M_n = P_n / \omega_n, H \cdot m,$$

где  $P_n$  - номинальная мощность ЭД, Вт;

$$\omega_n = \pi \cdot n_n / 30 \text{ с}^{-1} - \text{номинальная частота вращения вала ЭД.}$$

Время работы ЭД для режима *S1* составляет  $t = (2 \div 3)T_n$ ,

где  $T_n$  - постоянная времени нагрева ЭД.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Программируемый контроллер (ПК) 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты (ПЧ) 23. ПЧ подает заданное напряжение и заданную частоту тока на обмотку статора испытуемого ЭД 1. Частота вращения вала ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, при этом увеличивается тормозной момент. При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1. Комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД (в каждой фазе: напряжение, частоту тока, мощность, ток,  $\cos \varphi$ , гармонический состав тока и напряжения).

При достижении заданного программируемым контроллером времени, ПК 11 уменьшает ток в электромагнитах 9, при этом снижается тормозной момент, и подается сигнал на отключение преобразователя частоты 23. Данные измерительного комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима *S2* – кратковременный режим работы режим работы при постоянной нагрузке в течение определенного времени, недостаточного для достижения практически установивше-

гося теплового состояния, за которым следует состояние покоя длительностью, достаточной для того, чтобы температура машины сравнялась с температурой охлаждающей среды, рис. 4.19).

Нормируемая длительность периодов работы в данном режиме: 10, 30, 60 и 90 мин. В соответствии с графиком нагрузки (рис. 4.19), на программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задается ток электромагнитов 9, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента для испытуемого электродвигателя и время его работы, например, 30 минут.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Контроллер 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ подает заданное напряжение и заданную частоту тока на обмотку статора испытуемого ЭД 1. Частота вращения ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, увеличивается тормозной момент. При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1. Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД.

При достижении заданного программируемым контроллером 11 времени (30 мин.) он уменьшает ток в электромагнитах 9, при этом снижается тормозной момент, и ПК 11 подает сигнал на отключение преобразователя частоты 23. Данные измерительного комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима *S3* – периодический повторно-кратковременный режим работы (последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых включает в себя время работы при постоянной нагрузке и время покоя, рис. 4.20). В этом режиме цикл работы таков, что пусковой ток не оказывает существенного влияния на превышение температуры ЭД.

Продолжительность включения (ПВ) устанавливается в процентах продолжительности одного цикла работы. ПВ равняется 15, 25, 40 и 60% продолжительности одного цикла, который равен 10 мин.



В соответствии с графиком нагрузки (рис. 4.20), на программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задается ток электромагнитов, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента для испытуемого ЭД. Выбираем, например, ПВ = 25% (4 минуты работы ЭД и 6 минут отключенного состояния) и 6 циклов работы, т.е. 60 минут идет процесс испытания.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Программируемый контроллер 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ подает заданное напряжение и заданную частоту тока на обмотку статора ЭД 1. Частота вращения ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, увеличивается тормозной момент. При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 10, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1. Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД 1.

При достижении заданного программируемым контроллером 11 времени (4 мин.), ПК 11 уменьшает ток в электромагнитах 9, при этом снижается тормозной момент, и подается сигнал на отключение преобразователя частоты 23. Через 6 минут процесс пуска повторится. Такой процесс - 4 минуты работы и 6 минут паузы - повторяется 6 раз. Данные измерительного комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима **S4** – периодический повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов (последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых содержит относительно длинный пуск, время работы с постоянной нагрузкой и время покоя, рис. 4.21).

Режим **S4** определяет эксплуатацию ЭД с частыми пусками, при которых длительность одного цикла определяется числом включений в час: 30, 60, 120 или 240 при определенном коэффициенте инерции  $k_j$ , равном 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3 или 10 и **ПВ** равном 15, 25, 40 и 60%.

Под коэффициентом инерции  $k_J$  понимается отношение суммы момента инерции двигателя  $J_{\text{дв}}$  и приведенного к валу двигателя момента инерции механизма  $J_{\text{пр. мех}}$  к моменту инерции двигателя

$$k_J = \frac{J_{\text{дв}} + J_{\text{пр. мех}}}{J_{\text{дв}}} = \frac{J_{\Sigma}}{J_{\text{дв}}}.$$

В данном случае момент инерции механизма  $J_{\text{пр. мех}}$  будет складываться из суммы моментов инерции соединительной муфты 2 и момента инерции стального диска 5. Совместно с моментом инерции ротора электродвигателя они создадут динамический момент, влияющий на пуск электропривода.

Из-за малой длительности каждого цикла, время пуска ЭД соизмеримо со временем работы, поэтому потери в пусковом режиме оказывают существенное влияние на нагрев ЭД. Для защиты ЭД от перегрева используется датчик температуры 22, установленный на корпусе ЭД 1.

Определяем длительность одного цикла, при ПВ = 40%, например, при числе включений в час равном 60

$$t_y = 3600 / z = 3600 / 60 = 60 \text{ сек} = 1 \text{ мин}.$$

В этом случае время пуска и время работы составляет 40% т.е. 24 с, а время паузы 36 с.

В соответствии с графиком нагрузки (рис. 4.21), на программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задаем ток электромагнитов 9, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента для испытуемого электродвигателя и время его работы. Задаем время пуска и работы 24 с, время отключенного состояния 36 с, время испытаний 1 час, т.е. 60 циклов нагрузки.

Включаем выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Программируемый контроллер 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ подает заданное напряжение и заданную частоту тока на обмотку статора испытуемого ЭД 1. Частота вращения ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, увеличивается тормозной момент. При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 ста-

билизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1. Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД.

При достижении заданного контроллером 11 времени (24 с), ПК 11 уменьшает ток в электромагнитах 9, при этом снижается тормозной момент, и ПК 11 подает сигнал на отключение преобразователя частоты 23. Через 36 секунд ПК 11 подает сигнал опять на включение преобразователя частоты 23. Так по заданной программе будет продолжаться 60 циклов нагрузки. Данные измерительного комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима **S5** – периодический повторно- кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением (последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из времени пуска, времени работы с постоянной нагрузкой, времени электрического торможения и времени покоя, рис. 4.22). Для режима работы **S5** определяются следующие значения величин:  $PB = 15, 25, 40$  и  $60\%$ ;  $z = 30, 60, 90, 120, 180$  и  $240$  включений / час;  $k_J = 1,2; 1,6; 2; 2,5$  и  $4$ .

На программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задаем ток электромагнитов 9, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента для испытуемого электродвигателя и время его работы в соответствии с графиком моментов, времени пуска и торможения, показанных на фигуре 6.

Например, выбираем время пуска  $t_n = 1$  с, время работы  $t_p = 58$  с, время торможения  $t_m = 1$  секунду, при котором преобразователь частоты 23 переводит ЭД 1 в режим динамического торможения на тормозной резистор (входит в конструкцию преобразователя частоты) и время отключенного состояния  $t_o = 60$  с. Тогда  $z = 30$ , а время цикла 2 минуты.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Контроллер 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ подает заданное напряжение и заданную частоту тока на обмотку статора испытуемого ЭД 1. Частота вращения ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, увеличивается тормозной момент. При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворо-

та 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1. Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД.

При достижении заданного программируемым контроллером 11 времени ( $1+58=59$  с), ПК 11 уменьшает ток в электромагнитах 9, при этом снижается тормозной момент до нуля, и подает сигнал на отключение преобразователя частоты 23 и для включения режима динамического торможения. Через 1 секунду после процесса динамического торможения ПЧ 23 отключается, и наступает период отключенного состояния. Через 60 секунд паузы, процесс включения ПЧ 23 повторяется. Так по заданной программе будет продолжаться 30 циклов нагрузки. Данные комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима **S6** – перемежающийся режим работы (последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из времени работы при постоянной нагрузке и времени работы на холостом ходу. Время покоя отсутствует, рис. 4.23).

Характеризующей величиной является продолжительность нагрузки

$$ПН = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} \cdot 100\% = \frac{t_p}{T_u} \cdot 100\%,$$

где  $t_{xx}$  – период работы на холостом ходу механизма.

Продолжительность работы с неизменной нагрузкой определяется в процентах длительности одного цикла – 15, 25, 40 или 60%. Продолжительность одного цикла, если нет других указаний, принимается равной 10 мин.

На программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задаем ток электромагнитов 9, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента для испытуемого электродвигателя и время его работы в соответствии с графиком моментов, времени работы с нагрузкой и времени работы на холостом ходу, показанных на фигуре 7. Задаем время создание нагрузки, например, 6 минут, время снятия нагрузки (холостого хода) 4 минуты.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Программируемый контроллер 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ подает заданное напряже-

ние и заданную частоту тока на обмотку статора испытуемого ЭД 1. Частота вращения ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, увеличивается тормозной момент. При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1. Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД 1.

Через 6 минут работы ПК 11 снижает напряжение на электромагнитах 9 до нуля, при этом тормозной момент не создается и ЭД 1 работает на холостом ходу. Через 4 минуты ПК 11 увеличивает напряжение на электромагнитах 9 и создается тормозной момент, что соответствует новому циклу работы. Данные измерительного комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима **S7** – периодический перемежающийся режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением (последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из времени пуска, времени работы при постоянной нагрузке и времени электрического торможения, рис. 4.24).

Для режима работы **S7** характеризующими величинами являются: число включений в час, коэффициент инерции и постоянная кинетической энергии. Определяются следующие значения величин:

$z = 30, 60, 90, 120, 180, 240$  и  $360$  вкл./ч;  $k_j - 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4$ .

Из-за малой длительности неизменной нагрузки потери в пусковые периоды и во время торможения оказывают существенное влияние на нагрев частей двигателя.

На программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задаем ток электромагнитов 9, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 номинального (или необходимого для исследования) тормозного момента в соответствии с графиком моментов, времени пуска, работы и торможения, показанных на фигуре 8.

Устанавливаем время пуска, работы и торможения для каждого участка. Например, время пуска  $t_n = 1$  с, время работы  $t_p = 58$  с, время торможения  $t_m = 1$  с. Тогда  $z = 60$ , а время цикла 1 минута.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Программируемый контроллер 11 подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ подает заданное напряже-

ние и заданную частоту тока на обмотку статора испытуемого ЭД 1. Частота вращения ЭД возрастает, при достижении заданной частоты вращения датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК увеличивает напряжение на электромагнитах 9, увеличивается тормозной момент. При достижении заданного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется и происходит процесс испытания ЭД 1. Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры ЭД.

При достижении заданного программируемым контроллером 11 времени ( $1+58=59$  с), ПК 11 уменьшает ток в электромагнитах 9, при этом снижается тормозной момент до нуля, подается сигнал на преобразователь частоты 23 для включения режима динамического торможения. Через 1 секунду заканчивается процесс динамического торможения, и отключается ПЧ 23. При снижении частоты вращения вала ЭД 1 до нуля, ПК 11 подает сигнал на новый пуск преобразователя частоты 23. Цикл работы повторяется. Количество циклов определяют задачи исследования. Данные измерительного комплекта 25 и программируемого контроллера 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Испытание для режима **S8** – периодический перемежающийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения (последовательность одинаковых рабочих циклов, где каждый цикл состоит из времени работы при постоянной нагрузке, соответствующей заданной частоте вращения, за которым следуют один или более периодов работы при других постоянных нагрузках, соответствующих различным частотам вращения. Время покоя отсутствует, рис. 4.25).

Для режима работы **S8** характеризующими величинами являются число включений в час, относительная продолжительность работы (*ПР*) для каждой внешней нагрузки и соответствующей ей частоты вращения, а также коэффициент инерции и постоянная кинетической энергии. Относительная продолжительность работы каждой из нагрузок определяется конкретно в каждом случае.

На программируемом контроллере 11 с помощью панели 12 ввода данных режима питания электромагнитов 9 и режима управления преобразователя частоты 23, задаем ток электромагнитов 9, соответствующий созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 тормозных моментов в соответствии с графиком моментов и частот вращения, показанных на рисунке 4.8. Устанавливаем время работы, ускорения и замедления на каждом участке диаграммы. Например, время ускорения ЭД на первом участке диаграммы  $t_y = 2$  с. Время работы ЭД на втором участке диаграммы с

первым постоянным моментом и первой частотой вращения ЭД  $t_{p1} = 118$  с. Время замедления ЭД на третьем участке диаграммы  $t_{z1} = 2$  с. Время работы ЭД на четвертом участке диаграммы со вторым постоянным моментом и второй частотой вращения ЭД  $t_{p2} = 88$  с. Время замедления на пятом участке диаграммы  $t_{z2} = 2$  с. Время работы ЭД на шестом участке диаграммы с третьим постоянным моментом и третьей частотой вращения ЭД  $t_{p3} = 178$  с. Общее время цикла 6,5 минуты. Далее процесс повторяется.

Включаем автоматический выключатель 24, и подаем сигнал пуска на панели 12. Программируемый контроллер 11 по заданному на фигуре 9 алгоритму подает сигнал на запуск преобразователя частоты 23. ПЧ 23 в течение 2 секунд увеличивает заданное напряжение и частоту на обмотках статора испытуемого ЭД 1. Одновременно ПК 11 увеличивает напряжение на электромагнитах 9, при этом увеличивается тормозной момент (участок  $t_y$  диаграммы на рис. 4.25). В момент пуска, кроме статического момента, создаваемого тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4, присутствует и динамический момент инерционных масс соединительной муфты 2 и стального диска 5.

При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1 на втором участке диаграммы с первым постоянным моментом и первой постоянной частотой вращения ЭД  $t_{p1} = 118$  с.

На третьем участке диаграммы ( $t_{z1} = 2$  с, рис. 4.8) ПК 11 подает сигнал на ПЧ 23 для снижения напряжения и частоты тока на обмотках статора испытуемого ЭД 1. При этом частота вращения первичного вала 3 снижается, о чем датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК 11 снижает напряжение и ток электромагнитов 9 до уровня, соответствующего созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 тормозных моментов в соответствии с графиком нагрузки.

При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД на четвертом участке диаграммы со вторым постоянным моментом и второй постоянной частотой вращения ЭД  $t_{p1} = 88$  с.

На пятом участке диаграммы ( $t_{31} = 2$  с, рис. 4.8) ПК 11 подает сигнал на ПЧ 23 для снижения напряжения и частоты тока на обмотках статора испытуемого ЭД 1. При этом частота вращения первичного вала 3 снижается, о чем датчик частоты вращения 18 подает сигнал на ПК 11. ПК 11 снижает напряжение и ток электромагнитов 9 до уровня, соответствующего созданию тормозящим диском 8 электромагнитного нагрузочного модуля 4 тормозных моментов в соответствии с графиком нагрузки.

При достижении заданного тормозного момента датчик угла поворота 17 подает сигнал на ПК 11, напряжение на электромагнитах 9 стабилизируется, и происходит процесс испытания ЭД 1 на шестом участке диаграммы с третьим постоянным моментом и третьей постоянной частотой вращения ЭД  $t_{p3} = 178$  с.

Измерительный комплект 25 регистрирует электрические параметры испытуемого ЭД 1 на всех режимах работы. На этом цикл испытаний 6,5 минуты заканчивается, и далее процесс повторяется, согласно диаграммы на рисунке 4.8.

После исследования данные измерительного комплекта 25 и ПК 11 переносятся на компьютер, где обрабатываются по алгоритмам исследователя.

Достоинство предлагаемого стенда:

1. Испытание асинхронных электродвигателей возможно на стандартных частотах тока 50 и 60 Гц и на регулируемой частоте в этих пределах.

2. Разработанный стенд для исследования и испытания электроприводов можно применять в учебных лабораторных и на производстве для испытания новых электрических двигателей и после их ремонта в режимах **S1-S8**.

3. Снижаются потери в испытуемых двигателях по сравнению с известным стендом, где регулирование частоты вращения вала осуществляется изменением напряжения. При таком регулировании возрастают потери в роторе АД пропорционально скольжению.

4. Обеспечивается плавная регулировка момента за счет ПИД-регулятора и он позволяет создавать импульсную и переменную нагрузку.

5. Запись результатов исследования на компьютер позволяет создавать базу данных электрических параметров асинхронных двигателей, прогнозировать и продлевать время их работы.

Формула изобретения подробно приведена [78].



## **5 ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

Пример реализован в форме интерактивного занятия в виде «творческое задание», «ролевая игра», «обсуждение в группах», «дискуссия», «мозговой штурм», «кооперативное обучение», «анализ конкретных ситуаций – кейс-метод».

При проведении лабораторных и практических занятий по дисциплине «Автоматизация технологических процессов» (АТП) широко используются интерактивные методы проведения занятий. Одной из таких форм является «творческое задание». Так, на занятиях студенты получают задание в виде технологических схем и требований к электрическим схемам, по которым необходимо разработать принципиальную электрическую схему управления электроприводом и реализовать ее потом на лабораторном стенде.

**Пример №1.** Моделирование электрических схем управления электроприводом питателя транспортера корнеклубнеплодов ТК-5Б

**Цель работы:** ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления питателя транспортера корнеклубнеплодов ТК-5Б и принципом их составления.

### **Программа работы**

1. Ознакомиться с общими сведениями о работе.
2. Изучить технологическую схему питателя транспортера корнеклубнеплодов ТК-5Б.
3. Составить электрическую схему питателя транспортера корнеклубнеплодов ТК-5Б
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

### **Методика выполнения работы**

Питатели кормов применяют в кормоцехах для равномерной загрузки кормоприготовительных машин в течение рабочей смены. При отсутствии питателей работа технологических линий зависит от своевременности подвоза кормов, наличия транспорта, уровня организации подготовки производства и т.д.

*Питатель транспортер корнеклубнеплодов ТК-5Б* (рис. 5.1) предназначен для приема, хранения и дозированной подачи корне-

клубнеплодов из бункеров хранилищ в измельчители ИКС-5М, ИКМ-5. В комплектацию ТК-5Б входят два горизонтальных шнека питателя с приводной станцией, и скребковый транспортер. Каждый шнек питатель устанавливают в нижней части завального бункера. В один бункер загружают картофель, в другой – свеклу. Шнеки питатели включаются в работу только поочередно. Это достигается тем, что муфта привода передачи вращения для одного шнека включается при левом вращении, для другого – при правом. При пуске первым включают скребковый транспортер, а затем один из шнеков питателей. Останавливают механизм в обратной последовательности.

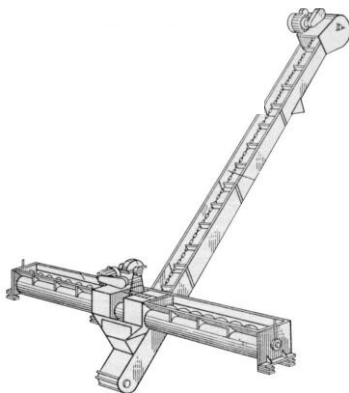


Рис. 5.1 – Питатель транспортер корнеклубнеплодов ТК-5Б

***Требования к схеме управления:***

1. Предусмотреть реверсивное управление двигателем шнека питателя.
2. Предусмотреть остановку линии с очисткой тракта по команде реле времени.
3. Предусмотреть защиту двигателя скребкового транспортера от заклинивания.

***Контрольные вопросы***

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления электроприводом питателя транспортера корнеклубнеплодов ТК-5Б.
2. Опишите работу схемы автоматического управления при остановке линии с очисткой тракта по команде реле времени.
3. Как осуществляется защита двигателя скребкового транспор-

тера от заклинивания.

**Пример №2** Моделирование электрических схем управления смесителей кормов АПС-6

**Цель работы:** ознакомится с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления смесителя кормов АПС-6 и принципом их составления.

### **Программа работы**

1. Ознакомится с общими сведениями о работе.
2. Изучить технологическую схему смесителя кормов АПС-6.
3. Составить электрическую схему смесителя кормов АПС-6.
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

### **Методика выполнения работы**

Смешивание кормов является завершающей технологической операцией. Двухвальные смесители используют для кормовых смесей влажностью менее 80%. В смесителях наиболее интенсивно корма перемешиваются в течение первых 10 минут, далее процесс замедляется, и через 30 – 40 минут однородность смеси не изменяется. Максимально допустимая загрузка смесителей не должна превышать 0,8 от их геометрического объема для смесей влажностью более 70% и 0,7 – для густых смесей влажностью менее 70%.

В смесителях готовят сырые и запаренные кормовые смеси. В первом случае производительность смесителя в 2 – 3 раза выше. На запаривание 1 кг концентрированных кормов в среднем расходуется 0,2 – 0,3 кг пара. При запаривании грубых кормов производительность котельной установки должна быть не менее 600 кг в час с давлением 0,1 атмосфер на каждые 10 м<sup>3</sup> объема смесителя.

Порционные смесители кормов работают по циклическому графику с предварительным дозированием кормовых компонентов по массе и объему. Рекомендуется грузоподъемность кормораздатчиков подбирать кратно порции приготавливаемых кормов.

Смеситель кормов АПС-6 предназначен для приготовления сырых и запаренных кормовых смесей на свинофермах и фермах крупного рогатого скота (рис. 5.2).

Верхняя часть корпуса смесителя АПС-6 овальной формы. Съёмная металлическая крышка смесителя имеет смотровой и загрузоч-

зочный люки. Каждая мешалка состоит из шести лопастей, закрепленных на валу по винтовой линии через  $60^\circ$ .

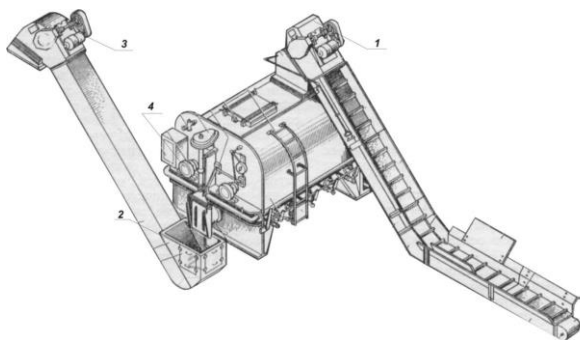


Рис. 5.2 – Смеситель кормов АПС-6

В комплект смесителя АПС-6 входят выгрузной скребковый транспортер ТС-40М (3), смеситель АПС-6,0.02 (2), загрузочный скребковый транспортер АПС-6,0.01 (1), пусковая и защитная аппаратура. Загрузочный транспортер крепится к крышке корпуса смесителя фланцем на приемном бункере, внутри которого имеется паронепроницаемая крышка, плотно закрывающая загрузочное окно после подачи всех компонентов. Вода, молочные продукты, жидкие дрожжи в смеситель поступают через трубу с отверстиями, расположенную в верхней части корпуса.

Приготовление кормов осуществляется в следующем порядке. Первыми в смеситель загружают корма, которые необходимо запаривать с помощью транспортера (1). Затем в смеситель наливают горячую воду в соотношении 150 – 200 л на 100 кг кормов, после этого включают мешалку (4) и подают пар, нагревая смесь до  $90^\circ$ . В бункере смесителя находятся датчики температуры корма, в результате срабатывания которых прекращается подача пара и работа мешалки. После этого подаются концентрированные корма, и затем включается мешалка. При запаривании концентрированных кормов мешалка смесителя должна все время работать. Выгрузка запаренных кормов осуществляется с помощью выгрузного транспортера (3) и электромагнитной заслонки (2).

#### ***Требования к схеме управления:***

1. Перед включением загрузочного транспортера, предусмотреть звуковой сигнал.

2. Предусмотреть отключение мешалки и прекращение подачи пара по достижению температуры корма  $90^{\circ}$ .
3. Мешалка (4) должна иметь ручное управление.
4. Управление выгрузкой запаренных кормов осуществляется вручную.
5. Предусмотреть отключение мешалки и прекращение подачи пара при срабатывании электромагнитной заслонки (2).
6. Предусмотреть блокировку работы электромагнитной заслонки при остановке выгрузного транспортера.

### ***Контрольные вопросы***

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схеме автоматического управления смесителя кормов АПС-6.

2. Каким образом работает схема при выгрузке.

3. Опишите работу схемы при пуске.

Разработка схем может поручаться студентам, как в виде домашнего задания, так и непосредственно на аудиторных занятиях. Принципиальные схемы студенты разрабатывают на основе контактных элементов (переключатели, магнитные пускатели, реле и т.д.) или с применением микроконтроллерной базы. Учебная группа разбивается на подгруппы (3 - 4 человека). В подгруппе обозначается специализация отдельных студентов - ***«ролевая игра»***: 1 студент – технолог, 2 студент – конструктор разработчик схем, 3 и 4 студенты – электромонтажники (собирают схемы). В процессе разработки схемы студенты на основе специализации вынуждены вступать в ***дискуссию*** по соответствию полученной схемы требованиям технологии, требованиям к схемам по безопасности, надежности и возможности ее реализации на данном стенде. В процессе такой формы как ***«обсуждение в группах»*** они приходят к конкретному варианту принципиальной схемы, утверждают ее и начинают реализовывать (собирать схему) на стендовом оборудовании. Та часть студентов или подгрупп, которые дома не смогли прийти к какому-то решению по схемам или не захотели этим заниматься в силу уверенности в своих способностях, начинают разрабатывать схемы на учебном занятии, и вынуждены применять методику ***«мозговой штурм»***. После сбора схемы на лабораторном стенде, студенты в присутствии преподавателя включают схему под напряжение. Преподаватель проверяет работу во всех режимах и делает замечания по невозможности работы на отдельных операциях. Идет опять ***«мозговой штурм»*** по доработке схемы, вы-

яснению, кто именно сделал ошибку (разработчик, сборщик схемы или технолог). При доработке схемы проявляется метод **«кооперативное обучение»**, который проявляется в желании каждого найти правильное решение независимо от специализации в подгруппе.

После того, как студенты выполнили первую серию лабораторных работ на отдельном занятии, проводится разбор часто встречаемых ошибок в схемах - **«анализ конкретных ситуаций–кейс-метод»**. Часто для одного и того же задания есть несколько вариантов схемных реализаций. Студенты готовы отстаивать свой вариант принципиальной схемы.

**Пример №3. Реализация схем применением программируемых контроллеров, на примере ПР-110.**

Прибор ПР-110 предназначен для построения простых автоматизированных систем управления, а также для замены релейных систем защиты и контроля. Логика работы прибора ПР-110 определяется пользователем в процессе программирования с помощью среды «OWEN Logic».

#### **Последовательность работы над проектом**

Составление коммутационной программы рекомендуется начинать с планирования. План должен описывать все возможные состояния ПР-110 при функционировании (в виде диаграммы режимов, таблицы состояний, электрической или функциональной схемы и др.).

После того, как продуманы все задачи, которые должны выполняться программируемым контроллером, необходимо составить программу на основе функций (логических элементов) и функциональных блоков.

#### **Работа над проектом включает:**

1. открытие нового проекта – весь проект будет храниться в одном файле, которому следует присвоить идентификационное имя;

2. формирование структуры текущего проекта рекомендуется выполнять в следующем порядке:

**а)** из файла «Библиотека компонентов» на холст добавляются необходимые блоки путем перетаскивания их мышью при нажатой на ней левой кнопке (из соответствующей вкладки «Функции» или «Функциональные блоки»);

**б)** последовательно выделяя курсором блоки схемы, на закладке «Свойства» установить их параметры;

**в)** соединяются блоки программы между собой, а также с нужными входами и выходами ПР-110. При этом допускается передви-

гать квадраты входов и выходов в вертикальной плоскости для расположения соединительных линий по кратчайшей длине;

3) загружается проект в ПР-110 и проверяется его работа на макете. При проверке правильности работы коммутационной программы в ПР-110 последовательно включают и выключают каждый вход, контролируя состояние выходов на соответствие нужным условиям;

4) по результатам макетирования производится редактирование проекта с целью устранения ошибок (добавление новых элементов и программных цепей или их удаления, редактирование параметров работы функциональных блоков и т. д.);

5) после устранения всех ошибок подготовка проекта завершается сохранением его в файле;

6) загрузка проекта в ПР-110 и проверка его работы на макете.

Процесс создания коммутационной управляющей программы иллюстрируется на конкретном примере.

### ***5.1 Пример выполнения схемы автоматизации линии предварительной обработки зерна***

#### ***Общие сведения***

Поточная линия производит перемещение продукта ковшовой норией на дробилку, в которой зерно измельчается и далее скребковым транспортером загружается в бункер для зерна. В бункере установлен датчик уровня, при срабатывании которого линия полностью отключается (рис. 5.3).

***Дробилка ДМ-10*** обеспечивает измельчение как зерновых компонентов комбикорма (пшеница, ячмень, кукуруза, горох и т.д.), так и не зерновых (шрот, жмых, травяная мука, ракушка и т.д.). Дробилка ДМ-10 состоит из следующих основных сборочных единиц: рамы, корпуса, ротора, бункера, двух решет и привода. Дробилка комплектуется сменными решетками с диаметром отверстий 4,8 мм и 6,3 мм.

***Ротор*** представляет собой сборную конструкцию из вала с приваренными пятью дисками. В шести отверстиях дисков при помощи втулок установлены оси, на которых в определенном порядке подвешены шарнирно 120 молотков.

***Бункер*** служит для сглаживания пульсирующего потока зерна и очистки его от посторонних предметов. Бункер снабжен решеткой и магнитным сепаратором. На одной из боковых стенок бункера установлен датчик потока или уровня, заблокированный с приводами дро-

билки и загрузочного механизма, обеспечивающий возможность регулировки загрузки дробилки.



Рис. 5.3 – Технологическая схема линии предварительной обработки зерна

**Привод** включает в себя электродвигатель, втулочно-пальцевую муфту и защитный кожух.

**Нория** ленточного типа ковшовая предназначена для вертикального перемещения зерна и продуктов его переработки. Нория состоит из бесконечного тягового элемента с прикрепленными к нему ковшами, являющимися рабочим элементом. Тяговый элемент огибает приводной и натяжной барабаны. Тяговый элемент, приводной и натяжной барабаны заключены в металлическом кожухе, верхняя часть которого носит название головки, нижняя – башмак. Головка и башмак соединены между собой квадратными трубами. Сыпучий груз подается в башмак через загрузочный носок. При огибании тяговым элементом приводного барабана происходит разгрузка ковшей нории и груз через носок удаляется из головки.

Для предотвращения раскачивания тягового элемента, просыпания груза из ковшей и обеспечения необходимого натяжения тягового элемента нижний барабан связан с натяжным винтовым устройством. Барабан головки приводится в движение от электропривода через клиноременную и цепную передачи.

Взрывной разрядитель предназначен для отвода взрывной волны в случае ее возникновения. Аспирация нории осуществляется посредством аспирационной трубы, путем отсоса запыленного воздуха из нории в аспирационную сеть предприятия.



Дополнительно: для предотвращения завала башмака транспортируемым продуктом на трубе нории устанавливается датчик подпора ВВЕ-Ц30-96-2111-3А, на расстоянии 200 - 250 мм выше фланца башмака. При превышении допустимого уровня продукта размыкаются контакты цепи управления электродвигателя, приводящего в движение транспортер, подающий продукт в элеватор. Транспортер останавливается, а элеватор продолжает работать и уменьшает подпор груза в носке.

Контроль скорости при пробуксовке или обрыве ленты осуществляется при помощи датчика скорости ВБИ-М30-49-2111-Л. При уменьшении частоты вращения барабана индуктируемый ток в датчике ВБИ-М30-49-2111-Л уменьшается, что приводит к срабатыванию реле и отключению механизмов, подающих продукт в элеватор.

Наша поточная линия не рассматривает механизмы, стоящие впереди нории, поэтому при составлении схемы особенности работы ковшовой нории мы учитывать не будем.

**Скребокковые транспортеры** предназначены для транспортирования мелкокусковых и сыпучих материалов. Он состоит из приводной и натяжной секции, между которыми расположены промежуточные прямые и изогнутые секции внутри которых расположена подвижная цепь со скребками. При запуске приводной станции транспортируемый продукт перемещается с одного конца конвейера (транспортёра) на противоположный конец при помощи подвижной цепи со скребками.

#### ***Требование к схеме управления:***

1. Перед запуском линии дробления предусмотреть звуковую сигнализацию;
2. Электродвигатели нории, дробилки, транспортера должны быть защищены от заклинивания;
3. Предусмотреть задержку на включение ковшовой нории;
4. При достижении уровня в бункере, линия должна отключаться. Контроль заполнения бункера осуществляется бесконтактным датчиком;
5. Линия должна иметь режим «Рабочий стоп»;
6. Линия должна иметь режим «Аварийный стоп».

Цепь управления составляется с учетом всех технологических требований к схеме управления. Структурно- функциональная схема автоматизации предварительной обработки зерна представлена на

рисунке 5.4. Электрическая принципиальная схема автоматизации линии предварительной обработки зерна дана на рисунке 5.5.

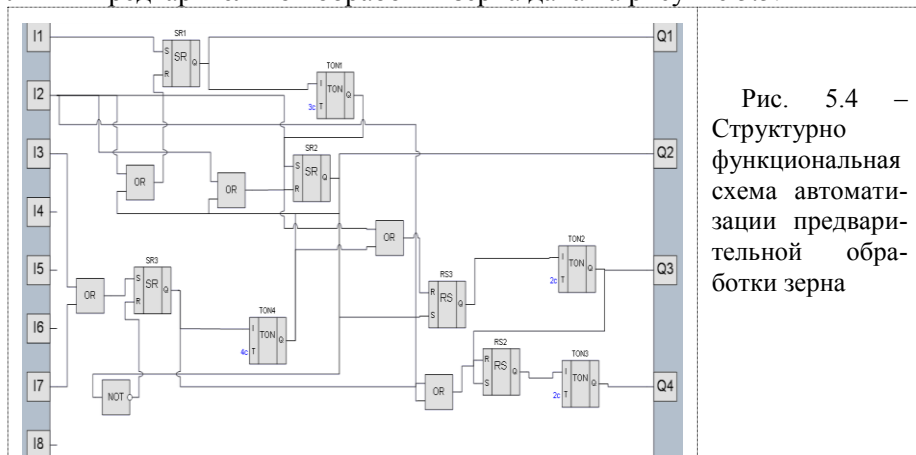


Рис. 5.4 – Структурно функциональная схема автоматизации предварительной обработки зерна

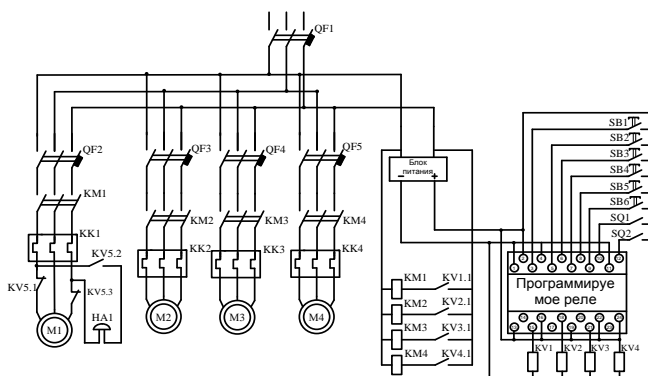


Рис. 5.5 – Электрическая принципиальная схема для автоматизации линии предварительной обработки зерна

### Описание работы схемы

**Цепь входа 11 (включение установки):** при нажатии кнопки ПУСК (SB1) на входе S SR-триггера «SR1» появляется логическая «1» – на выходе Q SR-триггера «SR1» установится логическая «1». Этот сигнал поступает дальше, на вход таймера с задержкой включения «TON1», и на выход Q1 (контактами реле включится звуковая сигнализация «Включение установки»). Через заданную выдержку времени (3 сек) на выходе таймера «TON1» Q появляется сигнал – логическая «1», поступающая на вход S SR-триггера «SR2», в результате че-

го на выходе  $Q$   $SR$ -триггера « $SR2$ » появится логическая «1», распределяющаяся по нескольким адресам:

1. На выход  $Q2$  (контактами магнитного пускателя КМ4 скребковый транспортер включится);

2. На вход  $R$   $SR$ -триггера « $SR2$ »(см. цепь входа  $I2$ );

3. На вход  $S$  триггера « $RS3$ »- на выходе триггера  $SR$ -триггера « $RS3$ » появится логическая «1», которая поступит на вход таймера « $TON2$ », и спустя заданный промежуток времени (2 сек) на выходе таймера « $TON2$ » появится логическая «1», следующая:

- на выход  $Q3$  (контактами магнитного пускателя КМ3 включится молотковая дробилка);

- на вход  $S$  триггера « $RS2$ »- на выходе триггера « $RS2$ » появится логическая «1», которая поступит на вход таймера « $TON3$ », и спустя заданный промежуток времени (2 сек) на выходе таймера « $TON3$ » появится логическая «1», следующая на выход  $Q4$  (контактами магнитного пускателя КМ2 включится ковшовая нория);

- на вход  $R$  триггера « $SR3$ » (см. цепь входа  $I3, I7$ ).

**Цепь входа  $I3, I7$  (рабочий стоп):** при нажатии кнопки «Рабочий стоп» ( $SB3$ ), или срабатывания датчика уровня зерна ( $I7$ ), на входе  $S$  триггера « $SR3$ » появляется логическая «1» – на выходе  $Q$  триггера « $SR3$ » установится логическая «1». Этот сигнал поступает дальше, на следующие адреса:

- вход  $R$  триггера « $RS2$ », через структурный элемент функцию «ИЛИ». На выходе триггера « $RS2$ » появляется логический «0», который поступит на вход таймера « $TON3$ ». При этом на выходе таймера « $TON3$ » появится логический «0», поступающий на выход  $Q4$  (катушка магнитного пускателя КМ2 обесточится, контакты КМ2 разомкнутся, ковшовая нория отключится);

- вход таймера « $TON4$ », и через заданный период времени (4 сек) на выходе таймера « $TON4$ » появится логическая «1», поступающая на вход  $R$  триггера « $RS3$ », через структурный элемент функцию «ИЛИ». На выходе триггера « $RS3$ » появляется логический «0», который поступит на вход таймера « $TON2$ ». При этом на выходе таймера « $TON2$ » появится логический «0», поступающий на выход  $Q3$  (катушка магнитного пускателя КМ3 обесточится, контакты КМ3 разомкнутся, молотковая дробилка отключится);

- вход  $R$  триггера « $SR1$ », через структурный элемент функцию «ИЛИ». На выходе триггера « $SR1$ » появляется логический «0», который поступит на вход таймера « $TON1$ ». На выходе таймера « $TON1$ »

появится логический «0», **поступающий** на вход *S* триггера «SR2»;

- вход *R* триггера «SR2» через структурный элемент функцию «ИЛИ». При этом на выходе триггера «SR2» появится логический «0», поступающий на выход *Q2* (катушка магнитного пускателя КМ4 обесточится, контакты КМ4 разомкнутся. Транспортер отключится).

**Цель входа I2 (аварийный стоп):** при нажатии на кнопку «Аварийный стоп» (*I2*) логическая единица, через структурные элементы функции «ИЛИ», поступает на входы *R* триггеров «SR1», «SR2», «RS2», «RS3», тем самым вызывая появление на выходах этих триггеров логического «0», который одновременно приходит на выходы *Q2*, *Q3*, *Q4*, что приводит к одновременной остановке ковшовой норрии, молотковой дробилки, скребкового транспортера.

На 5.6 – 5.8 приведены фото по разработке схемных вариантов в группе: «ролевая игра», «обсуждение в группах», «мозговой штурм».



Рис. 5.6 – Разработка схем автоматизации студентами

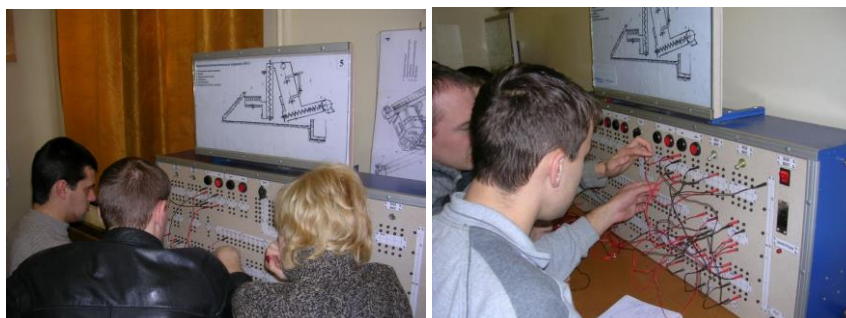


Рис. 5.7 – Сборка электрических схем автоматизации

После разработки и обсуждения схемного решения начинается процесс монтажа схемы. В подгруппе обычно обозначается лидер,

который распределяет обязанности: **1** – подбор соединительных проводов, **2** – чтение схемы и диктовка какой аппарат с каким должен соединяться, **3** – монтаж – непосредственное соединение элементов схем, **4** – контроль правильности соединительных операций и проверка соответствия технологии.



Рис. 5.8 – Проверка схемных решений на лабораторном оборудовании

На рисунке 5.9 приводится совместный разбор часто встречаемых ошибок «*кооперативное обучение*», «*анализ конкретных ситуаций – кейс-метод*».

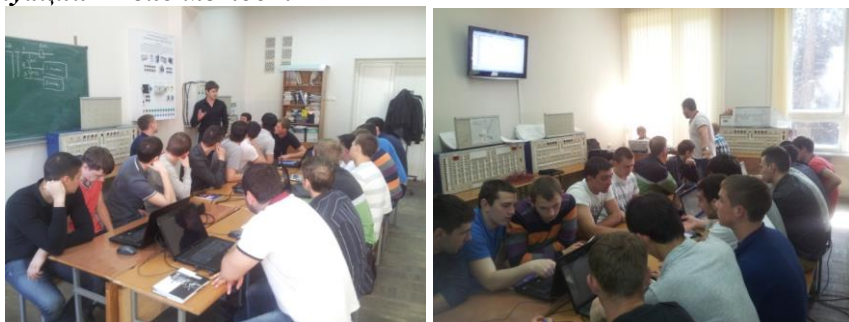
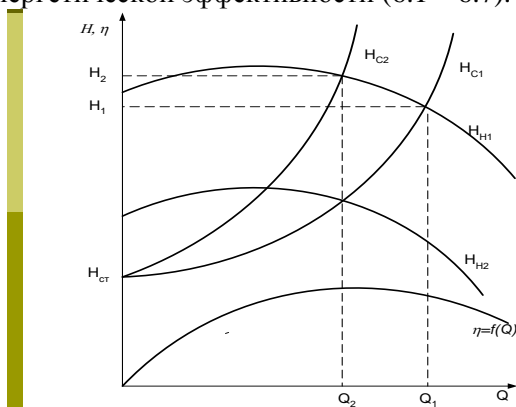


Рис. 5.9 – Разбор ошибок в схемах автоматизации «анализ конкретных ситуаций – кейс-метод»

## 6. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД»

Все лекции по дисциплине «Автоматизированный электропривод» проводятся в виде «*публичных презентаций*». Можно выделить группу лекций, проходящих в виде «*проблемная лекция*».

К проблемной лекции можно отнести следующий материал. Так лекция, посвященная повышению энергетической эффективности насосов, излагается следующим образом. Первоначально идут слайды по технологическим характеристикам, из которых видны пути повышения энергетической эффективности (6.1 – 6.7).



### Технологические характеристики

- Характеристика магистрали и воздухораспределительной сети в общем виде описывается уравнением

$$H_c = H_{cm} + k_c Q^2$$

где  $H_c$  - полный напор на магистрали или воздухораспределительной сети;

$H_{cm}$  - статический напор, обусловленный противодавлением в котле, цистерне, воздухораспределительной сети; статическая высота подачи жидкости;

$k_c$  - коэффициент сопротивления магистрали или сети.

Постоянный коэффициент можно определить по формулам

$$k_c = \frac{\sum h}{Q_n^2}$$

$$k_c = \frac{\left( \frac{\lambda}{d} + \sum \xi \right) \rho}{\pi^2 g d^4}$$

где  $\sum h$  - суммарные местные и линейные потери, местные потери обычно не превышают 10% от линейных потерь напора на трение,  $Q_n$  - номинальная подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $\lambda$  - коэффициент трения;  $l$  и  $d$  - длина и диаметр трубопровода, м;  $\xi$  - коэффициент, характеризующий сопротивление трения в трубопроводе, для трубопроводов с круглой площадью поперечного сечения -

$\xi = \frac{\lambda}{d}$   $\rho$  - плотность перекачиваемой жидкости.

Рис. 6.1 – Технологические характеристики центробежных механизмов

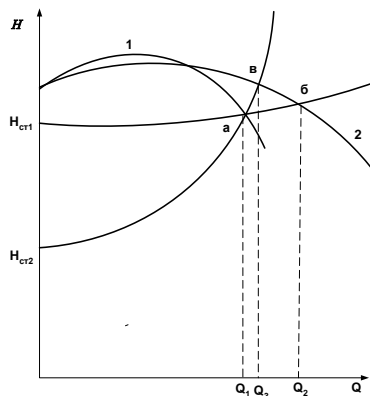
Далее приводятся способы регулирования производительности с анализом потребления электрической энергии.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Центробежные механизмы. Вентиляционные установки

### Способы регулирования подачи

Для изменения подачи данных механизмов применяется дискретное и плавное регулирование. При дискретном регулировании изменяется количество механизмов, работающих параллельно на одну магистраль, может меняться время работы и отключения центробежной установки, а также ступенчато изменяться частота вращения ротора. Эффективность дискретного регулирования путем количественного изменения работающих механизмов зависит от крутизны  $QH$  характеристик магистралей.

На рисунке приведены  $QH$  характеристики двух насосов и различных магистралей. Характеристика 1 соответствует отдельно работающему механизму, а характеристика 2 – двум машинам и получена путем удвоения характеристики 1. Изображены также две характеристики магистрали с разными статическими напорами и обладающие разной крутизной.



### Способы регулирования подачи

Плавное регулирование имеет более высокие качественные показатели технологического процесса и может производиться двумя путями: изменением положения задвижки, регулированием частоты вращения ротора. При изменении подачи от  $Q_1$  до  $Q_2$  с помощью задвижки рабочая точка перемещается из положения а, в положение б по характеристике вентилятора (рисунок). Характеристика сети изменяется от вида 1 до вида 2. В этом случае вводится дополнительное сопротивление  $\Delta h$  (за счет задвижки) и напор увеличивается от значения  $H_1$  до  $H_2$ . Если изменять скорость вращения вентилятора, то изменится характеристика вентилятора и рабочая точка сместится из положения а в положение в. Изменение скорости резко уменьшит значение напора от  $H_1$  до  $H_3$ .

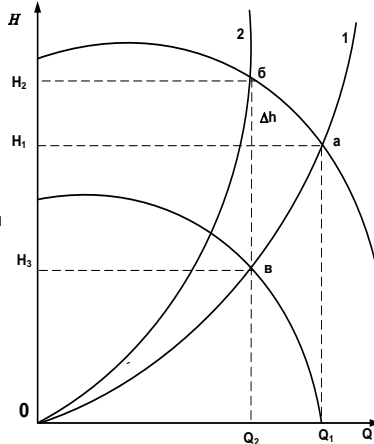
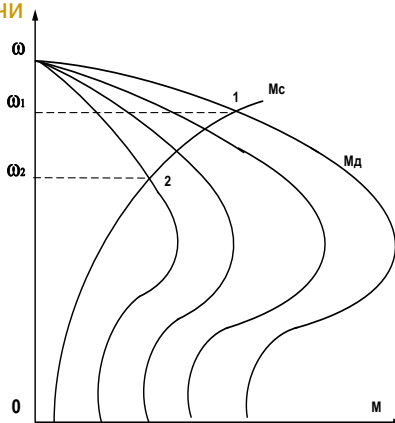


Рис. 6.2 – Анализ способов регулирования подачи механизмов с вентиляторной характеристикой

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Центробежные механизмы. Вентиляционные установки

### Способы регулирования подачи

Изменение напряжения на зажимах статора может реализовываться с помощью трансформаторов, имеющих отдельные выводы пониженного напряжения или тиристорных регуляторов. В случае использования трансформаторов с отдельными выводами к преимуществам такого способа регулирования следует отнести: относительную простоту осуществления (имеется специальная серия электродвигателей и несложно изготовить трансформатор), синусоидальная форма кривой напряжения, что положительно сказывается на работе, как электродвигателей, так и других приемников, подключенных к общей сети; невысокая стоимость оборудования.



### Способы регулирования подачи

Наиболее экономичным является регулирование синхронной частоты вращения за счет изменения частоты питающего напряжения. Вид механических характеристик при частотном способе регулирования и выполнения закона регулирования, обеспечивающим постоянную перегрузочную способность, представлен на рисунке. Механическая мощность, требуемая для привода вентилятора на произвольной частоте вращения, определится по формуле:

$$P_{\text{мех.}i} = P_{\text{мех.ном}} \left( \frac{\omega_i}{\omega_{\text{ном}}} \right)^3$$

- где  $P_{\text{мех.ном}}$ ,  $\omega_{\text{ном}}$  - номинальные соответственно механическая мощность и угловая скорость.

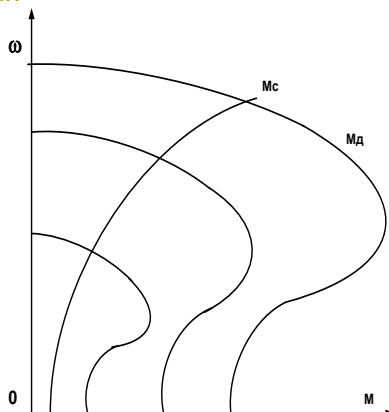


Рис. 6.3 – Анализ способов регулирования производительности механизмов с вентиляторной характеристикой



Следующий этап – акцентирование внимания на затратах на реализацию того или иного способа регулирования и водоснабжения на конкретных примерах.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Центробежные механизмы. Насосные установки

### Технологические схемы

В качестве башен обычно используют унифицированные водонапорные башни Рожновского (рисунок). Ёмкость баков 15,25,50, 160 м<sup>3</sup>. Башни Рожновского снабжены цилиндрическими опорами (высотой 10,12,15,18, 25 м), которые заполняют дополнительными запасами воды.



## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Центробежные механизмы. Насосные установки

### Технологические схемы

Существует несколько методик расчета объема бака водонапорной башни.

1. Необходимый объем бака водонапорной башни  $V_B$  рассчитывают по формуле:

$$V_B = V_{ак} + V_n$$

где  $V_{ак}$  - объем аккумулирующего резервуара;  $V_n$  - объем емкости хранения неприкосновенного противопожарного запаса воды.

Объем аккумулирующего резервуара можно принять равным регулируемому объему и рассчитать по формуле:

$$V_{\partial} = \frac{Q_i}{4 \cdot Z_{\max}}$$

где  $Q_i$  - производительность насоса,  $Z_{\max}$  - максимальная частота включений в час, зависит от типа насоса, можно принимать 6.

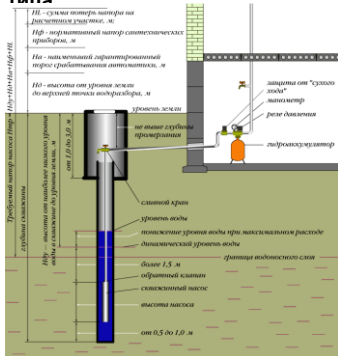


Рис. 6.4 – Пример выполнения водоснабжающих установок

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Центробежные механизмы. Насосные установки

Технологические схемы. Водоснабжающие установки с промежуточной гидроаккумулирующей емкостью  
Также используются гидроаккумуляторы и для насосов погружного

### типа



## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Центробежные механизмы. Насосные установки

Технологические схемы. Водоснабжающие установки с промежуточной гидроаккумулирующей емкостью

### 1. Метод на основании средней производительности

Для оптимальной работы гидроаккумулятора необходимо, чтобы  $P_{prec} < P_{min}$ .  
Рекомендуется, чтобы:

$$P_{prec} + 0.5 \text{ бар} = P_{min}$$

Пример: определить объем гидроаккумулятора для системы с реле давления, отрегулированным на минимальное давление 2.5 бар и максимальное – 4.5 бар при требуемом расходе воды 115 л/мин.

$$Q_{max} = 115 \text{ л/мин}$$

$$Z = 12$$

$$P_{max} = 4.5 \text{ бар} + 1 \text{ Атм} = 5.5 \text{ АТА}$$

$$P_{min} = 2.5 + 1 \text{ Атм} = 3.5 \text{ АТА}$$

$$\Delta P = 5.5 - 3.5 = 2 \text{ АТА};$$

$$P_{prec} = 3.5 - 0.5 = 3 \text{ АТА}; V = \frac{16,5 \cdot 115 \cdot 5,5 \cdot 3,5}{12 \cdot 2 \cdot 3} = 507,32 \text{ л}$$



Рис. 6.5 – Примеры реализации водоснабжения объектов

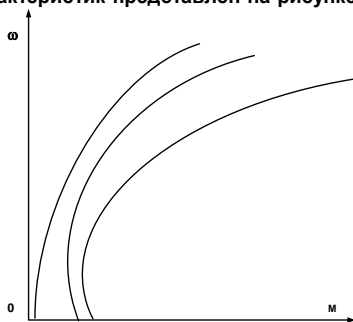
После этого обостряются проблемные ситуации, и дается возможность студентам самим попытаться определить наиболее подходящий вариант водоснабжения.

Вторая часть лекций – «*лекция-исследование*». В качестве примера следует привести лекцию «Электропривод механизмов со случайной нагрузкой». Первоначально приводятся технологические и остальные приводные характеристики таких механизмов (дробилки, измельчители).

## Машины со случайной нагрузкой. Дробилки и измельчители кормов

### Механические, инерционные, энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы

Данный тип машин, как правило, запускается на холостом ходу. В связи с этим для проектирования электропривода имеет определенное значение механическая характеристика при пуске без нагрузки. Вид таких характеристик представлен на рисунке.



### Механические, инерционные, энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы

Значение моментов в процессе запуска на холостом ходу для некоторых машин дано в таблице, здесь же приведено данные по моменту инерции. Необходимо отметить значительную инерционную составляющую этих машин. Данный параметр влияет на время пуска и торможения электропривода и в связи с этим время достижения номинальной угловой скорости измельчающих машин находится в интервале 22- 45 с.

Тип машины	Приведенный момент инерции рабочей машины и ротора электродвигателя, кг·м <sup>2</sup>	Момент трогания, н·м	Минимальный момент, н·м	Момент при номинальной частоте вращения, н·м
Соломосиловосреза PCC-6.0	1,29	1,67	1,67	14,7
Измельчитель «Волгарь-5»	1,57	11,8	7,35	9,8
Измельчитель ИКС-5М	6,25	4,9	2,94	7,8
Измельчитель ИГК-30	11,4	2,94	2,94	16,7
Дробилка ДКУ-2	2,65	9,8	4,9	15,7
Дробилки КДУ-2	7,75	14,7	10,7	55

Рис. 6.6 – Приводные характеристики дробилок и измельчителей кормов

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Машины со случайной нагрузкой. Дробилки и измельчители кормов

### Механические, инерционные, энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы

Для дробилок кормов удельную энергию измельчения можно рассчитать по формуле (фоменков):

$$A_{изм} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)$$

где  $C_1, C_2$  - опытные коэффициенты, для ячменя  $C_1 = (10 \div 13) \cdot 10^3$ ,  $C_2 = (6 \div 9) \cdot 10^3$  Дж/кг, для травы -  $C_1 = 4 \cdot 10^3$ ,  $C_2 = 7 \cdot 10^3$  Дж/кг;  $\lambda$  - степень измельчения продукта, определяется как отношение среднего размера частиц исходного материала к среднему размеру измельченных частиц на выходе.

Мощность приводных электродвигателей колеблется в большом пределе, так дробилки снабжены электродвигателями от 22 до 160 кВт; мощность электродвигателей измельчителей приведена в таблице.

Показатель	ИКС-5М	ИКМ-5М	ИКМ-Ф-10	КПИ-4
Производительность, т/ч	5...8,8	5...7,5	8...10	2,5...4
Мощность электродвигателя, кВт	9	10,5	13,2	4

### Механические, инерционные, энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы

Режим работы электроприводов измельчителей и дробилок длительный с переменной нагрузкой. Нагрузочные диаграммы имеют переменный характер со случайными амплитудами и интервалами приложения нагрузки (рис).



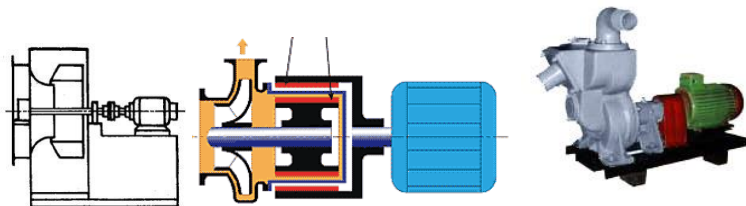
Рис. 6.7 – Приводные характеристики дробилок и измельчителей кормов

Следующим этапом проводится исследование способов достижения устойчивой работы таких механизмов с соответствующими расчетами.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Машины со случайной нагрузкой. Дробилки и измельчители кормов

### Способы достижения устойчивой и эффективной работы измельчителей сельскохозяйственных продуктов

Способ запуска электропривода с применением различного рода муфт очень эффективен и его сущность заключается в следующем. Электродвигатель и рабочая машина соединяются через муфту, у которой есть ведущая и ведомая части, находящиеся не в сцепленном состоянии при отключенной от сети электрической машине (рис.).



### Способы достижения устойчивой и эффективной работы измельчителей сельскохозяйственных продуктов

Центробежная муфта состоит из ведущей и ведомой полумуфт 1 и 2, в пазы которых устанавливают фрикционные грузы — колодки (рис.). При достижении ведущей полумуфтой заданной угловой скорости ко-лодки 3, за счет центробежных сил, прижимаются к ведомой полумуфте, и муфта включается.

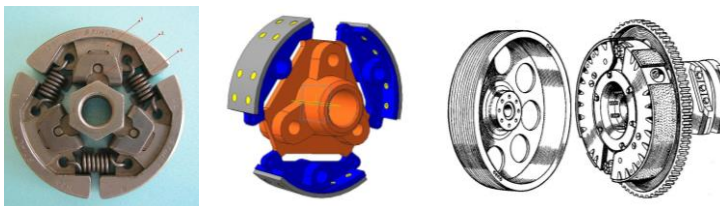


Рис. 6.8 – Способы повышения устойчивой работы измельчителей

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД. Машины со случайной нагрузкой. Дробилки и измельчители кормов

### Схемы автоматизации.

Значение емкостей рабочих и пусковых конденсаторов трехфазного электродвигателя при включении в сеть 220 В.

Мощность трехфазного электродвигателя, кВт	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	2.2
Минимальная емкость конденсатора C1, мкф	40	60	80	100	150	230
Емкость пускового конденсатора C2, мкф	80	120	160	200	250	300



### Схемы автоматизации.

Для автоматического отключения пусковой емкости используют специальные кнопки (рис ), где имеются специальные контакты включающиеся кратковременно. Кроме того встречаются схемы, где используют токовое реле, которое при пуске замыкает контакты и подключает пусковую емкость, а после разгона уменьшается ток в рабочей обмотке и пусковой конденсатор отключается. Кроме трехфазных электродвигателей выпускаются серийно и однофазные – с двумя обмотками (одна – рабочая, другая – пусковая). На рисунке показана схема включения однофазного электродвигателя с включением пускового конденсатора через токовое реле

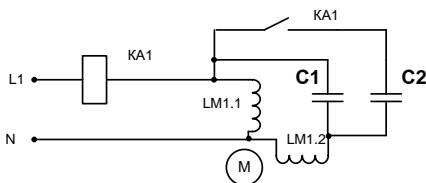


Рис. 6.9 – Способы повышения устойчивой работы измельчителей

Также приводится материал из диссертационных исследований по данной теме, где приводятся современные способы измельчения и соответствующие установки.

## **7 ИНТЕРАКТИВНАЯ ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ЛЕКЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «СХЕМОТЕХНИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСТАНОВОК»**

Применение информационных технологий в обучении – одна из наиболее устойчивых тенденций в развитии современного образовательного процесса. И если на практических занятиях информационные технологии давно находят применение, то лекционные занятия чаще всего проходят в традиционной форме.

В связи с переходом на новые образовательные стандарты, наблюдается значительное сокращение лекционных занятий в учебном плане, что приводит, как минимум, к следующим последствиям:

- большая ответственность студентов при самостоятельной работе;

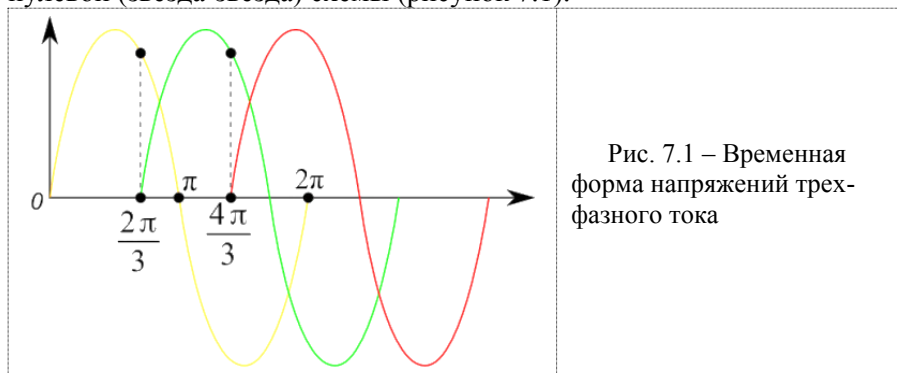
- для подачи минимально необходимого объема материала на лекционных занятиях требуются инновационные методы обучения, направленные на подачу большего объема информации в меньшее время.

К таким методам в частности относится интерактивная лекция, особенностью которой является активное участие как преподавателя, так и студента.

Организационная часть лекционного занятия: проводится проверка посещаемости, подготовка рабочего места и иные организационные моменты.

### ***Лекционное занятие:***

1. Рассмотрение схем трехфазных выпрямителей: трехфазной нулевой (звезда-звезда) схемы (рисунок 7.1).



Рассматриваются особенности данной схемы, достоинства и недостатки, области применения. К интерактивной составляющей относится предложение пояснить, что за значения и цветовые обозначения приведены на иллюстрации

Дополнительное обсуждение со студентами временной диаграммы работы данной схемы. Просьба пояснить, откуда такая периодичность пульсаций выходного тока на вентилях и почему у них такая форма (рисунок 7.2).

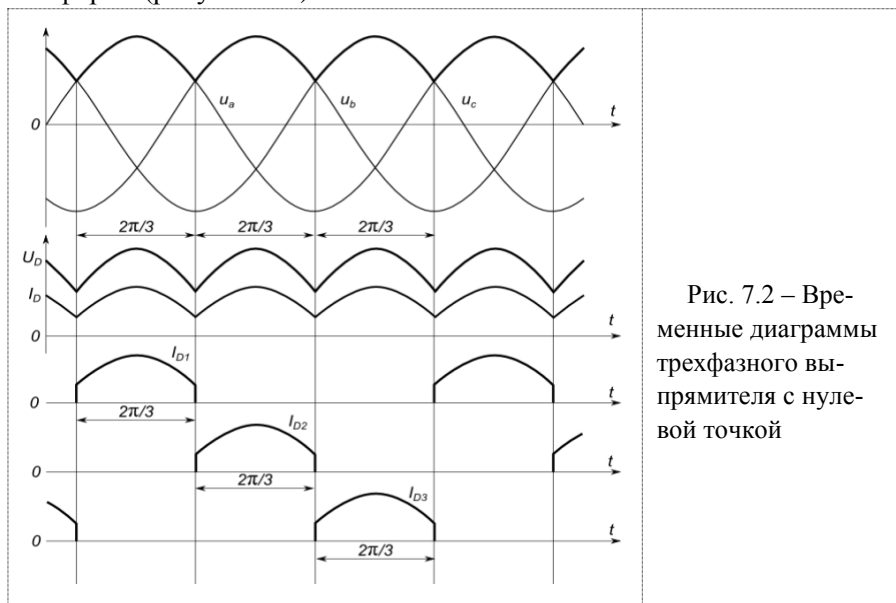


Рис. 7.2 – Временные диаграммы трехфазного выпрямителя с нулевой точкой

***Рассмотрение трехфазной мостовой схемы, особенностей, применения, достоинств и недостатков.***

Кроме рассмотрения особенностей предлагается рассмотреть путь выпрямляемого тока в момент времени отличный от коммутационного (рисунок 7.3) и в коммутационный (рисунок 7.4). Студенту предлагается пояснить, почему в коммутационный период не возникает межфазного короткого замыкания, а также чем обуславливается отличный от трехфазной нулевой схемы период пульсаций выпрямленного напряжения (рисунок 7.5).



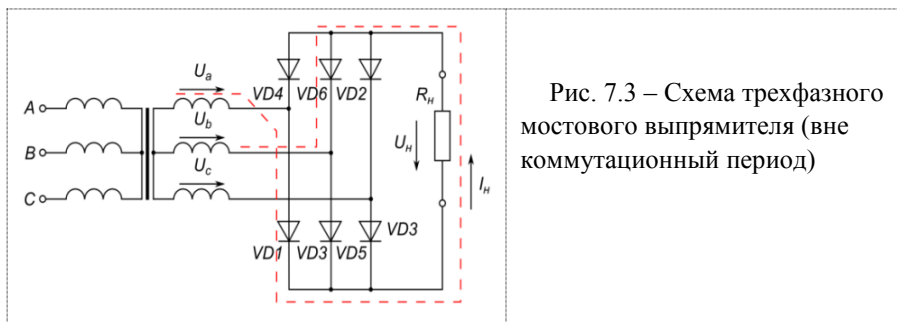


Рис. 7.3 – Схема трехфазного мостового выпрямителя (вне коммутационный период)

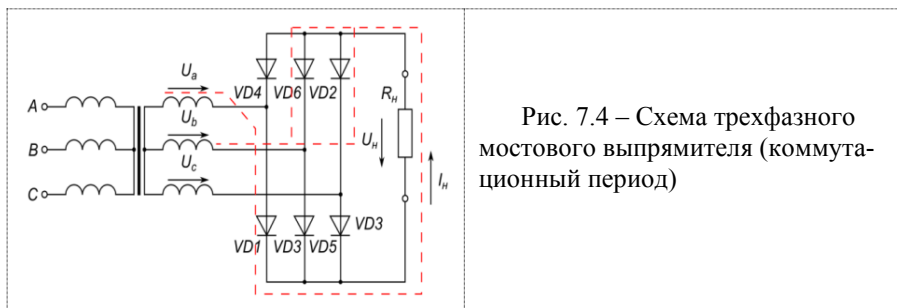


Рис. 7.4 – Схема трехфазного мостового выпрямителя (коммутационный период)

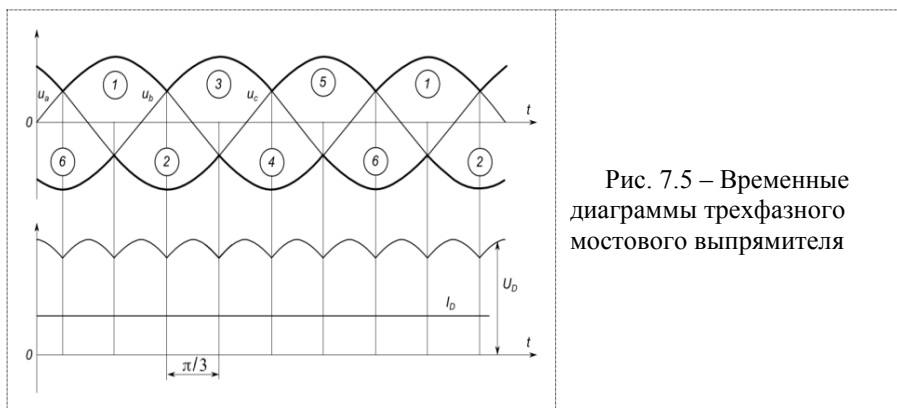


Рис. 7.5 – Временные диаграммы трехфазного мостового выпрямителя

По итогам занятия студенту предлагается просмотреть небольшой учебный ролик, демонстрирующий принципы работы трехфазного выпрямителя, где, согласно схеме модели, в произвольный момент времени подключается одна из ветвей выпрямителя. Предварительно студентам необходимо обсудить и пояснить, что произойдет в тот или иной момент времени, какой вид примет осциллограмма.

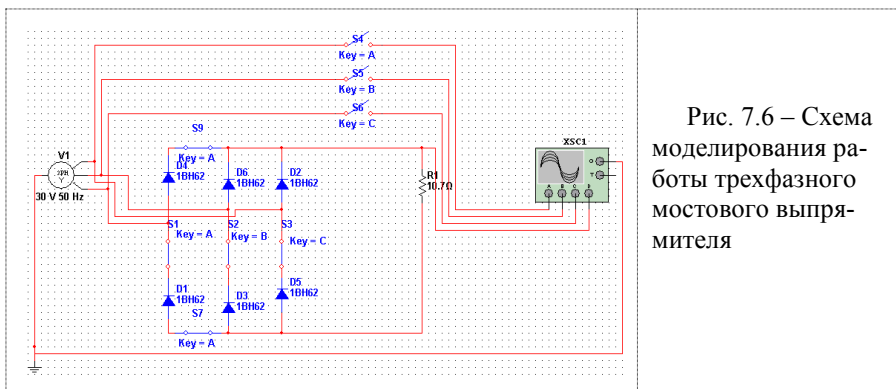


Рис. 7.6 – Схема моделирования работы трехфазного мостового выпрямителя

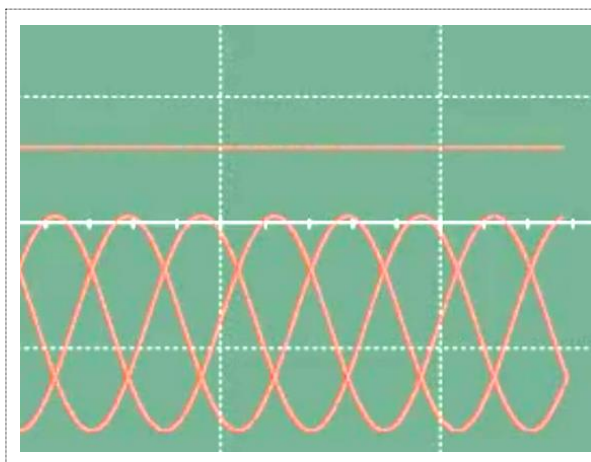


Рис. 7.7 – Трехфазный мостовой выпрямитель: фазные ключи разомкнуты

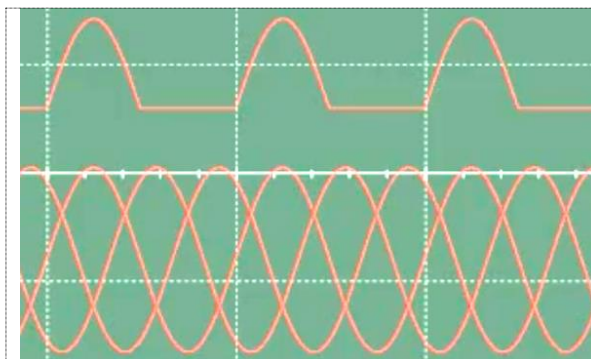


Рис. 7.8 – Трехфазный мостовой выпрямитель: один ключ замкнут

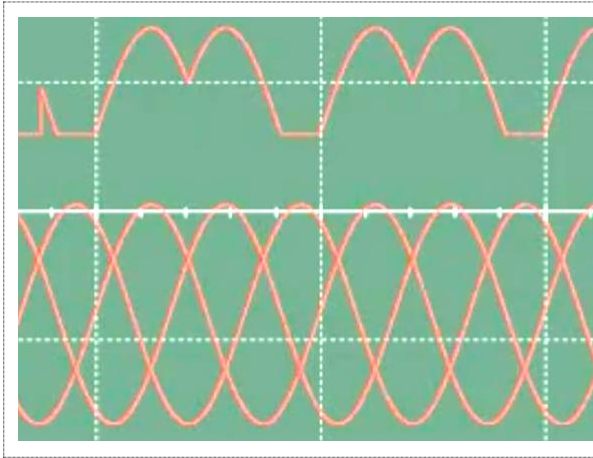


Рис. 7.9 – Трехфазный мостовой выпрямитель: два ключа замкнуты

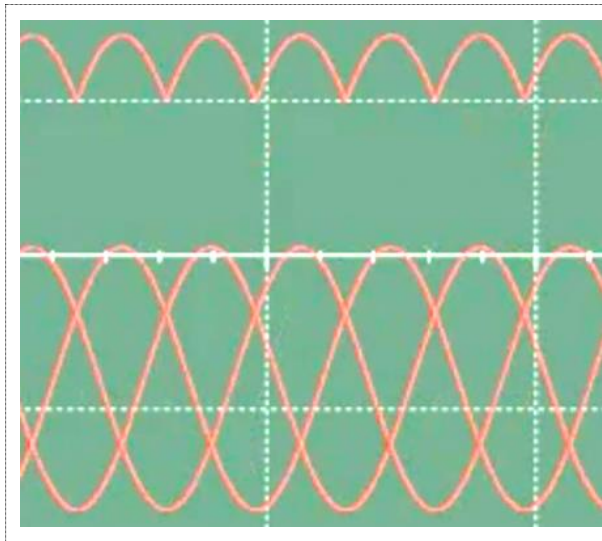


Рис. 7.10 – Трехфазный мостовой выпрямитель: все ключи замкнуты

Последний этап - подведение итогов занятия, выдача заданий на самостоятельную работу.

## **8 ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ»**

*Пример реализации интерактивных занятий по дисциплине «автоматизированные системы управления технологическими процессами» в виде «творческое задание», «ролевая игра», «обсуждение в группах», «дискуссия», «мозговой штурм», «кооперативное обучение», «анализ конкретных ситуаций – кейс-метод».*

При проведении лабораторных и практических занятий по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» (АСУТП) широко используются интерактивные методы проведения занятий. Одной из таких форм является «творческое задание». На занятиях студенты получают задание в виде технологических схем и описания технологического процесса, по которым необходимо разработать принципиальную электрическую схему системы управления на одном из языков стандарта МЭК 61131 (IEC 61131-3), программу для логического контроллера, формы визуализации и эмуляции, и реализовать ее потом на лабораторном стенде.

*Пример №1. Программирование промышленных логических контроллеров (ПЛК) на языке ST.*

**Цель работы:** Изучить принципы составления прикладных программ на языке ST пакета CoDeSys.

### ***Программа работы***

1. Ознакомится с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему.
3. Составить таблицу сигналов.
4. Написать программу на языке ST.
6. Создать формы визуализации и эмуляции.
5. Загрузить проект в контроллер и отладить систему управления технологическим процессом.

### ***Методика выполнения работы***

В соответствие с порядковым номером по списку, студенты получают схемы и описания технологического процесса (рис. 8.1).

Вода через заливной клапан 1 заполняет ёмкость до определенного уровня, измеряемого датчиком уровня 2. Вода ТЭНом 5 нагревается до заданной температуры, измеряемой датчиком температуры 3, и сливается через сливной клапан 4.

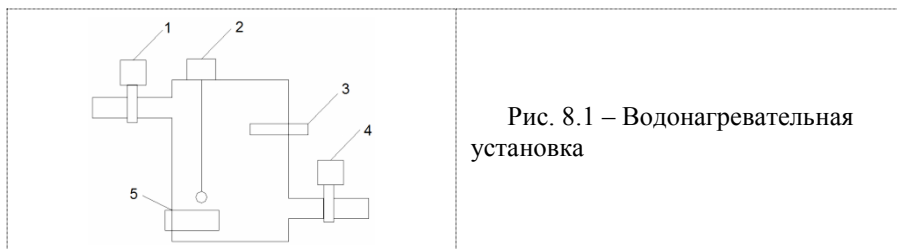


Рис. 8.1 – Водонагревательная установка

***Требования к системе управления:***

1. Предусмотреть возможность циклической работы установки с заданием количества циклов.
2. Предусмотреть возможность остановки в конце цикла и аварийную остановку.
3. Предусмотреть визуализацию хода технологического процесса.
4. Изменение уровня жидкости и температуры производить с помощью ручных потенциометров.

***Контрольные вопросы***

1. Назовите конструкции языка ST.
2. Назовите функциональные блоки и их параметры, используемые при написании программы для контроллера.
3. Как осуществляется подсчет числа циклов работы установки?

***Пример №2. Программирование ПЛК на языке FBD.***

***Цель работы:*** изучить принципы составления прикладных программ для промышленных логических контроллеров на языке FBD пакета CoDeSys.

***Программа работы***

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему.
3. Составить таблицу сигналов.
4. Написать программу на языке ST.
6. Создать формы визуализации и эмуляции.
5. Загрузить проект в контроллер и отладить систему управления технологическим процессом.

***Методика выполнения работы***

В соответствии с порядковым номером по списку, студенты получают схемы и описания технологического процесса (рис. 8.2).

При нажатии на кнопку «Пуск», звучит предупредительная сигнализация и запускается основной вентилятор теплого воздуха 1. После запуска основного вентилятора, включается топливный вентилятор 2 для продувки (10 с). Затем включается топливный электромагнитный клапан 3 и топливная смесь закачивается в камеру сгорания (5 с). Срабатывает запальная свеча 4 (4 с). Реле пламени 5 контролирует наличие пламени. Если пламя не появилось в течение 5 с., процесс розжига выполняется еще раз (с продувки воздухом 15 с.).



Рис. 8.2 – Схема теплового генератора

При повторном не запуске агрегата включается продувка 1 минута и аварийная сигнализация. При нормальном запуске агрегата, система должна контролировать температуру воздуха на выходе температурным датчиком 6 и изменять скорость вращения топливного вентилятора 2. При остановке агрегата, продувка должна осуществляться до тех пор, пока температура не упадет ниже  $T_{\min}$ .

### ***Требования к системе управления:***

1. Перед включением теплогенератора предусмотреть звуковой сигнал.
2. Предусмотреть защиту от превышения максимальной температуры.
3. Предусмотреть повторный запуск при неудавшемся первом.
4. Предусмотреть включение аварийной сигнализации и продувки при втором неудавшемся перезапуске.
5. Предусмотреть ПИД регулирование температуры воздуха с автоматической настройкой.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Как задаются параметры ПИД- регулятора с автоматической настройкой ?
2. Как осуществляется взаимодействие между POU ?
3. Опишите работу программных компонентов при пуске.

Разработка проектов для ПЛК может поручаться студентам, как в виде домашнего задания, так и непосредственно на аудиторных занятиях. Программные компоненты студенты разрабатывают конструкций языка ST (стандартные операторы и конструкции IF, CASE и т.д.), функциональных блоков FBD, «контактов», «катушек» и блоков LD или конструкций SFC. Учебная группа разбивается на подгруппы (по 3 - 4 человека). В подгруппе обозначается специализация отдельных студентов - *«ролевая игра»*: 1 студент-технолог, 2 студент-программист, 3 и 4 студенты-наладчики (собирают схему стенда, загружают и отлаживают проект ПЛК). В процессе разработки схемы студенты на основе специализации вынуждены вступать в *дискуссию* по соответствию проекта ПЛК требованиям технологии, требованиям к схемам по безопасности, и возможности ее реализации на данном стенде. В процессе такой формы как *«обсуждение в группах»* они приходят к конкретному варианту структуры проекта, утверждают ее и начинают реализовывать (пишут программные компоненты и собирают схемы) на стендовом оборудовании. Та часть студентов или подгрупп, которые дома не смогли прийти к какому-то решению по программным компонентам или не захотели этим заниматься в силу уверенности в своих способностях, начинают разрабатывать схемы на учебном занятии, и вынуждены применять методику *«мозговой штурм»*. После создания проекта ПЛК и сборки схемы на лабораторном стенде, преподаватель проверяет правильность сборки схемы, проводит инструктаж по безопасному проведению лабораторной работы и подает на стенд напряжение. Преподаватель проверяет работу системы управления во всех режимах и делает замечания по недостаткам проекта и ошибкам в отдельных операциях. Опять проводится *«мозговой штурм»* по доработке схемы, выяснению кто именно сделал ошибку (разработчик, сборщик схемы или технолог).

При доработке проекта проявляется метод *«кооперативное обучение»*, который проявляется в желании каждого найти правильное решение независимо от специализации в подгруппе.

После того как студенты выполнили первую серию лабораторных работ на отдельном занятии проводится разбор часто встречаемых ошибок в проектах - *«анализ конкретных ситуаций – кейс-метод»*. Часто для одной и той же задачи возможны несколько вариантов реализаций. Студенты готовы отстаивать свой вариант принципиальной схемы.

*Пример №3. Программирование ПЛК на языке LD*

**Цель работы:** изучить принципы составления прикладных программ для промышленных логических контроллеров на языке LD пакета *CoDeSys*.

Реализация системы управления на языке LD с применением программируемого логического контроллера производится на стенде №2 (рисунок 8.3).

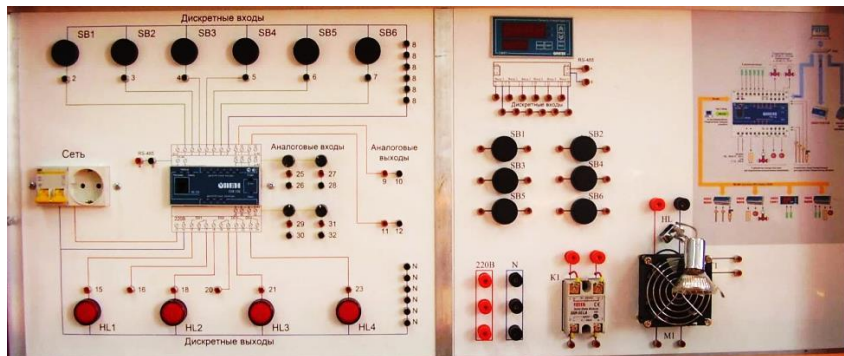


Рис. 8.3 – Внешний вид стенда №2 для моделирования систем автоматизированного управления на базе ПЛК

По заданию преподавателя выбирается вариант технологической схемы. На основании заданной технологической схемы и описания технологического процесса разработать:

- технологические требования к схеме управления;
- принципиальную электрическую схему автоматического управления технологической установкой;
- прикладную программу для ПЛК;
- дать описание работы принципиальной схемы.

### **Порядок выполнения работы**

Составление прикладной программы.

1. При создании программы используется среда программирования *CoDeSys V2.3* (далее – *CoDeSys*).

Перед созданием проекта пользователь, используя утилиту *Install Target* в составе *CoDeSys*, устанавливает для применяемого контроллера файл целевых задачи (*Target, файл*), который обеспечивает программный доступ к ресурсам ПЛК.

**2 Создание проекта программы.** При создании проекта используется язык релейных диаграмм **LD (Ladder Diagram)**, реализу-



ющий структуры, подобные электрическим цепям в коммутационной автоматике.

Пользователь запускает *CoDeSys* последовательным выбором приложений:

*Пуск* ⇒ *Все программы* ⇒ *3S Software* ⇒ *CoDeSys V2.3* ⇒ *CoDeSys V2.3*.

Новый проект открывается из главного меню: *File* ⇒ *New*. В открывшемся окне (рис. 8.4) выбирается тип контроллера, *PLC150.U-L*, выбор подтверждается нажатием клавиши **OK**.

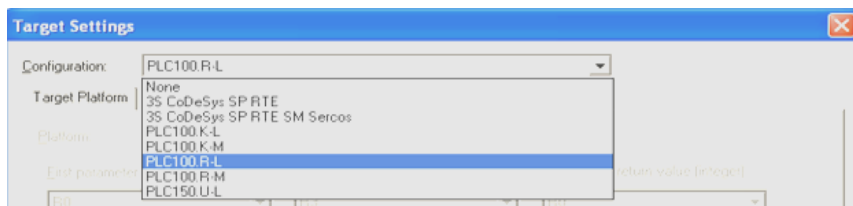


Рисунок 8.4 – Окно конфигурации «*Target Settings*» программы

После выбора проекта выводится экранная форма, задающая тип, имя и язык программирования первичного компонента *New POU*, главной программы контроллера. Необходимо выбрать язык программирования LD, установив флаги в позициях, указанных на рисунке 8.5.

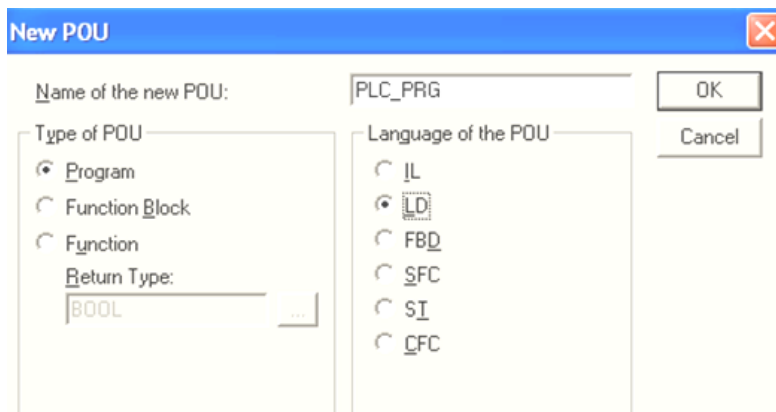


Рисунок 8.5 – Вид окна «*New POU*» с отмеченными параметрами

**Примечание.** Имя главной программы *PLC\_PRG* и ее тип менять нельзя.

После подтверждения выбора нажатием клавиши **OK** откроется окно нового проекта с именем по умолчанию *Untitled*. В нем присутствует одна вкладка *POUs*.

Весь проект хранится в одном файле, имя которого отображается в заголовке окна. Для ввода имени файла во второй строке меню быстрого запуска активизируется клавиша записи и в появившейся форме указывается имя файла: например, *LD, проект 1.pro*.

### 3 Параметры входов и выходов контроллера

Цепям контроллера, используемым в разрабатываемой электрической схеме, присваиваются имена переменных. В дальнейшем эти имена используются в программе для работы с конкретным входом или выходом контроллера.

Для присвоения имени какому-либо ресурсу ввода/вывода контроллера необходимо на вкладке ресурсов (*Resources*) Организатора объектов *CoDeSys* запустить утилиту *PLC Configuration (Конфигуратор ПЛК)*.

В появляющейся иерархической структуре – дереве *Конфигурации ПЛК* – пользователь открывает папки (модули) входов (*Discrete input*) и выходов (*Discrete output*) ПЛК, и именуем необходимые каналы. Перед адресом указывается имя (идентификатор переменной) для цепей входов и выходов схемы созданного проекта.

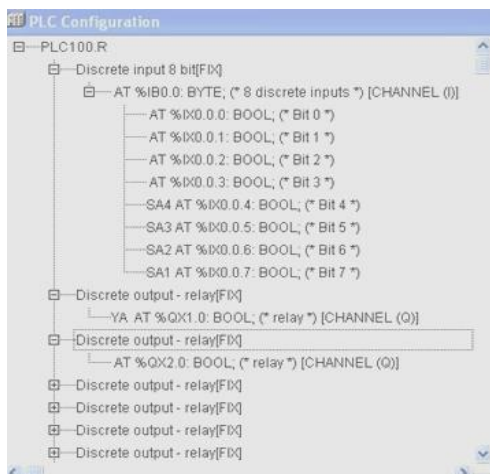


Рис. 8.6 – Экранная форма для именования входов и выходов при работе программы с цепями ПЛК

Именованье канала (входа или выхода) производится следующим образом: двойным щелчком манипулятора «мышь» при курсоре, установленном в начале строки названия канала, осуществляется переход в режим редактирования и вводится имя переменной канала.

Экранная форма, представленная иллюстрируют выполненные пользователем именованья каналов при использовании четырех входов (*IX0.0.4, IX0.0.5, IX0.0.6, IX0.0.7*) и одного выхода (*QX1.0*).

#### 4 Создание программы на языке LD

При написании программы в рабочей зоне вкладки *POUs* последовательно вводятся типы компонентов и их обозначения, как это представлено на рисунке.

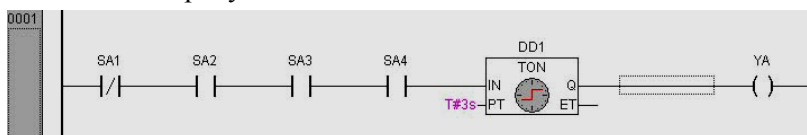


Рис. 8.7 – Пример программы на языке LD

Пользователь при составлении виртуальной схемы может следовать приведенной ниже инструкции.

Инструкция по созданию программы:

**5 Создание нормально замкнутого контакта:** в контекстном меню выбрать команду *Contact (negated)* или нажать кнопку  $|/|$  на панели инструментов. Символы вопросов (рис. 8.8) необходимо заменить именем, например *SA1*.

Описывать переменную в данном случае не требуется, так как она уже была указана в окне PLC Configuration и связана с конкретным дискретным входом.

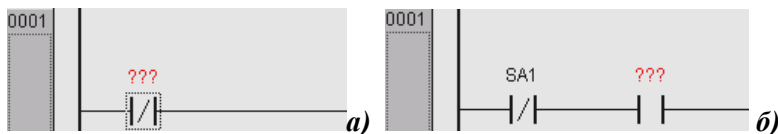


Рис. 8.8 – Создание нормально замкнутого, а) и разомкнутого, б) контактов

**6 Создание нормально разомкнутого контакта** делается аналогичным образом, только используется команда контекстного меню *Contact* или кнопка  $| |$  на панели инструментов (рис. 8.8, б).

**7 Функциональный блок:** из контекстного меню выбирается команда *Function Block*, – в появившемся окне «*Input Assistant*» (рис. 8.9) из раздела *Standard Function Blocks* в библиотеке с именем **STANDARD.LIB** в папке *Timer* выбирается вид таймера – **TON (FB)**. На схеме перед входом *PT* указывается время задержки в формате **T#3s**. Над блоком вводится имя, например **DD1** и на клавиатуре нажимается клавиша «стрелка вправо» подтверждаются свойства функционального блока.

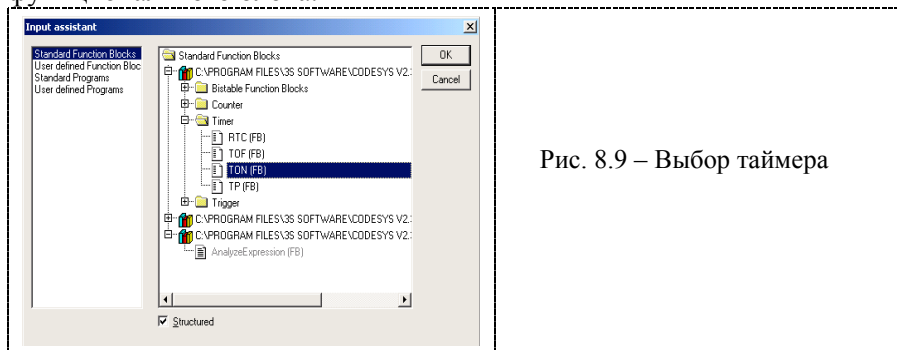


Рис. 8.9 – Выбор таймера

**8 Указание выхода цепи:** в контекстном меню выбирается команда *Coil* или нажимается кнопка на панели инструментов. На схеме появляется условное обозначение обмотки реле. Символы вопросов замещаются именем.

### 9 Запись программы в контроллер:

Настройка соединения ПК с ОВЕН ПЛК для загрузки и проверки работы программы в автономном режиме производится следующим образом.

Для информационного обмена ПК с ПЛК используется кабель программирования, входящий в комплект поставки. Им соединяются **COM** (порт компьютера и порт *Debug RS-232* контроллера).

Для настройки канала соединения из основного меню *CoDeSys* выбирается команда *Online-Communication parameters*. В диалоговом меню командой *New* открывается диалоговое окно, в котором соединению присваивается имя (например, **COM**) и выбирается (из перечня) вид соединения *Serial (RS232)*. Выбор подтверждается нажатием клавиши **OK**.

После указанных действий в окне коммуникационных параметров появляется канал соединения с именем **COM**. В зоне настроек (*Value*) для параметра *Baudrate* устанавливается значение **115200** (бит /сек – скорость соединения с компьютером). Значение может

быть изменено двойным щелчком левой кнопки манипулятора «мышь» на значении. Для сохранения нового значения в окне курсором мыши выбор подтверждается нажатием клавиши **OK**.

Программное соединение с ОВЕН ПЛК включается из главного меню **CoDeSys** командой **Online - Login**. При этом флаг перед строкой меню **Simulation Mode** должен быть снят.

Как только система устанавливает связь с ОВЕН ПЛК, появляется запрос на подтверждение загрузки новой программы, пользователь подтверждает загрузку: **Да**.

После завершения записи проекта в оперативную память ОВЕН ПЛК, запуск работы программы осуществляется выбором команды **Online - Run** (или нажатием на лицевой панели ОВЕН ПЛК кнопки **<Start>**). Управлять работой ОВЕН ПЛК можно при помощи переключателей.

### **8.1 Пример создания проекта для моделирования системы управления тепловой пушкой**

Описание установки.

Воздух вентилятором 1 прогоняется через тепловую пушку. В зависимости от уставки температуры включается определенное количество нагревательных элементов 2. Следует учесть, что нагревательные элементы не должны работать при выключенном вентиляторе. 3-измеритель температуры.

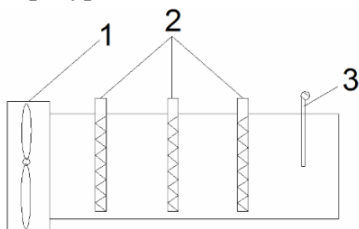


Рис. 8.10 – Технологическая схема линии предварительной обработки зерна

#### **Требование к схеме управления:**

Перед запуском предусмотреть звуковую сигнализацию;

1. Установка должна быть оборудована аварийной сигнализацией и защитой от превышения температуры;

2. Предусмотреть блокировку включения нагревателей при неработающем вентиляторе.

Проект ПЛК составляется с учетом всех технологических требований к системе управления. Внешний вид редактора **LD** и электрическая принципиальная схема представлена на рисунке 8.11.

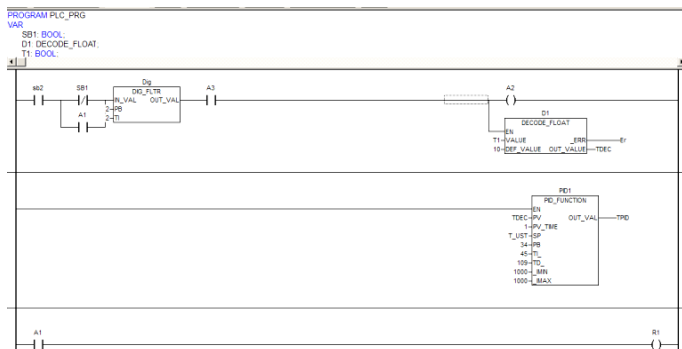


Рис. 8.11 – Программный компонент обработки сигнала с датчика температуры на **LD**

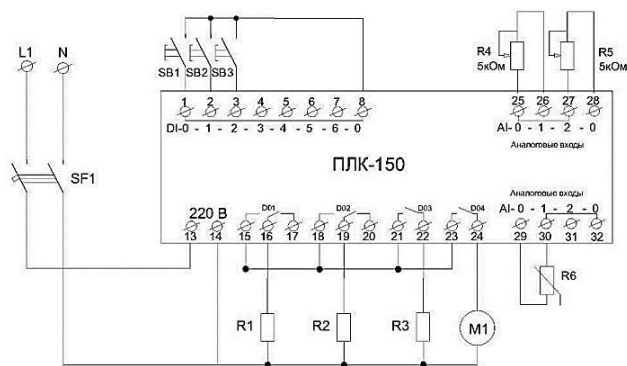


Рис. 8.12 – Схема системы управления тепловой пушкой

### Описание работы схемы:

При запуске системы нажатием кнопки **SB1** производится включение блоков **D1** и **Dig**, которые фильтрует сигнал с терморезистора **R6** и диагностирует состояние термодатчика. При наличии сигнала с терморезистора, включается регулятор **PID1** с предварительно настроенными параметрами. С помощью «релейных» элементов языка **LD** реализованы блокировки и последовательности включения нагревателей и вентилятора. Установка заданной и предельной температуры производится с помощью потенциометров **R4** и **R5**.

Все занятия в интерактивной форме проходят в специально оборудованной аудитории (рисунок 8.13 – 8.14), в которой также имеется выход в Интернет.



Рис. 8.13 – Вид аудитории для занятий по АСУ ТП

Каждому студенту выдается ноутбук, на котором он реализует свой проект.

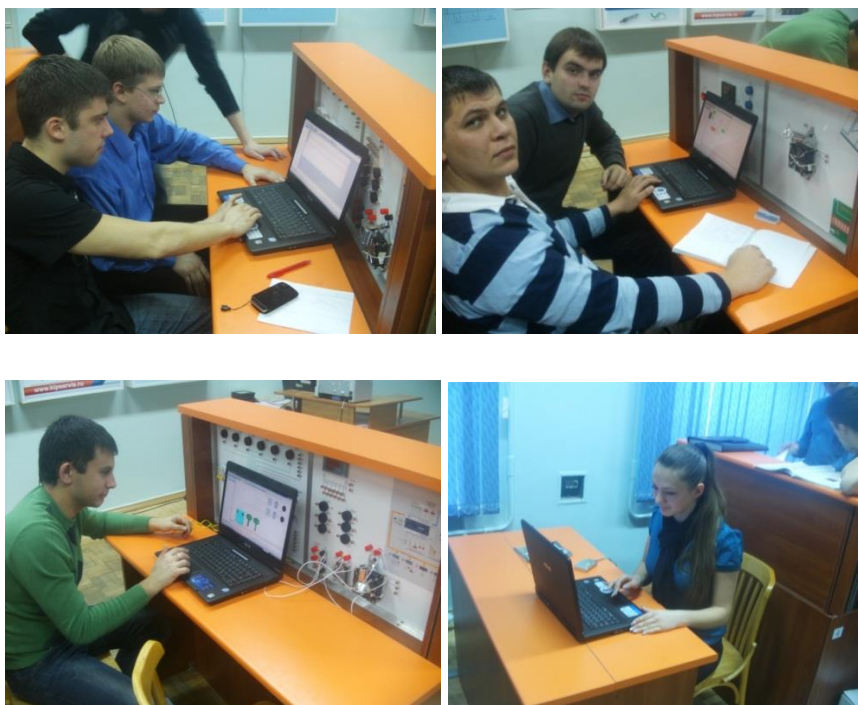


Рис. 8.14 – Проведение интерактивных занятий по АСУ ТП

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Представленные в пособии способы активизации познавательной деятельности обучающихся, основанные на активных и интерактивных формах проведения занятий, вполне соотносимы с известными и описанными в литературе образовательными технологиями. Однако данные формы обучения могут быть в значительной степени расширены.

Во-первых, применение в различных формах обучения придает им дополнительные оттенки, что способствует более интенсивному усвоению материала. Во-вторых, одни из них могут выступать частью других. В-третьих, многие из перечисленных технологий составляют сложный комплекс действий, и их можно использовать не только целиком, но и частично.

Необходимо отметить, что высшее образование, которое нередко воспринимается как некая услуга, на самом деле имеет несомненную специфику, которая состоит в том, что конечный продукт – способность к профессиональной деятельности – формируется при непосредственном участии обучающегося и поэтому в решающей степени зависит от усилий самого студента.

С методической точки зрения крайне важно учитывать неодинаковые возможности применения активных и интерактивных технологий на младших и старших курсах. Кроме того, надо учитывать и специфику учебных дисциплин. Не может быть одинаковой методика проведения занятий при изучении совершенно новой дисциплины по выбору студентов, по которой еще нет учебных пособий или учебников, и обучение о дисциплине, уже имеющей надлежащее методическое и материальное обеспечение.

В процессе обучения необходимо самую строгую инструментальную технологию нужно наполнить человеческим содержанием и смыслом, вдохнуть в нее жизнь, сделать ее в какой-то мере авторской, учесть индивидуально-личностные особенности субъектов, группы или коллектива, обстоятельства реального жизненного окружения и образовательной среды, особенности самого педагога.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверин, А.А. Повышение эффективности энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием ветродизельной установки [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.А. Аверин – Челябинск, 2009. – 23 с.

2. Бабина, Л.В. Аккумуляторная резервная ветроэлектростанция для летних лагерей [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Л.В. Бабина – Зерноград, 2012. – 19 с.

3. Богатырев, Н.И. Базовая теория формирования статорных обмоток многофункциональных асинхронных машин [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620988, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620722; Заявл. 05.07.2013; Опубл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 19 с.: ил.

4. Богатырев, Н.И. Методологические и технические основы снижения потерь в сельских электрических сетях [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620905, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620612; Заявл. 18.06.2013; Опубл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 17 с.: ил.

5. Богатырев, Н.И. Методы и технические средства повышения надёжности электрооборудования в сельском хозяйстве [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620940, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620636; Заявл. 21.06.2013; Опубл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 15 с.: ил.

6. Богатырев, Н.И. Модулированные статорные обмотки асинхронных генераторов [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621246, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620957; Заявл. 30.07.2013; Опубл. 25.09.2013; Бюл. №3. - 12 с.: ил.

7. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики асинхронных генераторов [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621101, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620872; Заявл. 22.07.2013; Опубл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 24 с.: ил.

8. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, П.П. Екименко: - Краснодар, 2011. - 256 с.: ил.

9. Богатырев, Н.И. Перспективы применения асинхронных генераторов для систем автономного электроснабжения [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистра-

ции базы данных № 2013620991, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620724; Заявл. 05.07.2013; Оpubл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 23 с.: ил.

10. Богатырев, Н.И. Практикум по электроприводу / Н.И. Богатырев, С.В. Оськин, В.Н. Темников; под. ред. С.В. Оськина: - Краснодар, 2009. – 288 с.: ил.

11. Богатырев, Н.И. Современные проблемы науки: раздел: «Особенности источников питания сварочной дуги» [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620929, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620610; Заявл. 19.06.2013; Оpubл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 23 с.: ил.

12. Богатырев, Н.И. Современный энергосберегающий электропривод [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620933, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620606; Заявл. 19.06.2013; Оpubл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 27 с.

13. Богатырев, Н.И. Статорные обмотки и параметры асинхронных двигателей и генераторов / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, О.В. Вронский. – Краснодар, КубГАУ. 2013. – 352 с. ил.

14. Богатырев, Н.И. Схема замещения и математическая модель асинхронного генератора [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620952, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620684; Заявл. 27.06.2013; Оpubл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 17 с.: ил.

15. Богатырев, Н.И. Схемы статорных обмоток, параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, О.В. Вронский; под. ред. В.Н. Ванурина: – Краснодар, 2007. – 301 с.: ил.

16. Богатырев, Н.И. Теория формирования модулированных статорных обмоток [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621102, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620724; Заявл. 22.07.2013; Оpubл. 20.09.2013; Бюл. №3. - 19 с.: ил.

17. Богатырев, Н.И. Тестирование по дисциплине «Электропривод» раздел «Определение мощности электродвигателей» [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620601, заявитель и правообладатель КубГАУ. - № 2010620483; Заявл. 24.08.2010; Оpubл. 13.10.2010.

18. Богатырев, Н.И. Тестирование по дисциплине «Электропривод» раздел «Аппаратура и автоматическое управление электроприводами» [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620656, заявитель

и правообладатель КубГАУ. - № 2010620515; Заявл. 7.09.2010; Опубл. 29.10.2010.

19. Богатырев, Н.И. Тестирование по дисциплине «Электропривод» раздел «Регулирование координат» [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620657, заявитель и правообладатель КубГАУ. - № 2010620516; Заявл. 7.09.2010; Опубл. 29.10.2010.

20. Богатырев, Н.И. Тестирование по дисциплине «Электропривод» раздел «Электромеханические свойства двигателей» [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620658, заявитель и правообладатель КубГАУ. - № 2010620517; Заявл. 7.09.2010; Опубл. 29.10.2010.

21. Богатырев, Н.И. Тестирование по дисциплине «Электропривод» раздел «Механика и динамика электропривода» [Текст] / Н.И. Богатырев, О.В. Вронский, Н.С. Баракин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620702, заявитель и правообладатель КубГАУ. - № 2010620482; Заявл. 24.08.2010; Опубл. 23.11.2010.

22. Богатырев, Н.И. Электрические контакты [Текст] / Н.И. Богатырев, А.В. Винников, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621313, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620992; Заявл. 06.08.2013; Опубл. 04.10.2013; Бюл. №3. – 22 с.: ил.

23. Богатырев, Н.И. Электрические машины переменного тока: моногр. / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, К.А.-А. Джанибеков: – Краснодар, 2011. – 224 с.: ил.

24. Богатырев, Н.И. Электромеханические реле [Текст] / Н.И. Богатырев, А.В. Винников, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621263, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620998; Заявл. 01.08.2013; Опубл. 26.09.2013; Бюл. №3. - 21 с.: ил.

25. Богатырев, Н.И. Электронные реле [Текст] / Н.И. Богатырев, А.В. Винников, Н.С. Баракин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621262, заявитель и правообладатель Кубанский госагроуниверситет. – № 2013620997; Заявл. 01.08.2013; Опубл. 26.09.2013; Бюл. №3. - 19 с.: ил.

26. Варфоломеев, Ю.Н. Повышение эффективности электрокопчения за счёт использования поля коронного разряда [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Ю.Н. Варфоломеев – Барнаул, 2013. – 23 с.

27. Газалов, В.С. Использование статистических методов при решении прикладных задач в сельскохозяйственном производстве. Монография / В.С. Газалов, Н.Е. Пономарёва, В.Н. Беленов. – Зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2011 – 74 с.

28. Газалов, В.С. Светодиодный электрооптический преобразователь для подкормки рыбы. Монография / В.С. Газалов, Н.Е. Пономарева. – Краснодар: ООО «Крон», 2008. – 116 с.

29. Газалов, В.С. Электрооптические преобразователи с изменяющейся цветностью излучения для подкормки рыбы. Монография / В.С. Газалов, Е.А. Шаббаев. – зерноград: СКНИМЭСХ, 2011. – 176 с.

30. Газалов, В.С. Электрооптический преобразователь для предпосевной обработки семян пшеницы. Монография / В.С. Газалов, Э.В. Щербалева – Краснодар: ООО «Крон», 2008. – 133 с.

31. ГОСТ Р 51677-2000 Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности. – М.: - Издательство стандарт - 4 с.

32. ГОСТ Р 52002-2003 Электротехника. Термины и определения основных понятий. М.: - Стандартинформ. – 2005. - 31 с.

33. ГОСТ Р 52776-2007 Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики. – М.: - Стандартинформ. - 2008. - 68 с.

34. Грачева, Н.Н. Использование электроактивированного воздуха для интенсификации сушки зерна активным вентилированием [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Н.Н. Грачев – зерноград, 2012. – 19 с.

35. Данышева, Н.С. Разработка технологии щелочной варки льняного волокна в СВЧ- поле при производстве ваты [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Н.С. Данышева – Ижевск, 2010. – 18 с.

36. Деменцев, К.И. Повышение эффективности работы сварочных преобразователей инверторного типа за счет модуляции сварочного тока [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / К.И. Деменцев – Баранул, 2010. – 20 с.

37. Денисенко, Е.А. Режимы озонирования и параметры электроозонатора для стерилизации растительных субстратов кормопродуктов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Е.А. Денисенко – Краснодар, 2013. – 24 с. (23.11.2013).

38. Дидыч, В.А. Энергосберегающие режимы работы мелиоративных насосных агрегатов с разработкой автоматизированной системы управления [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.А. Дидич – Краснодар, 2013. – 24 с. (29.11.2013).

39. Екименко, П.П. Автономный источник питания для диагностики и технического обслуживания трансформаторных подстанций сельскохозяйственного назначения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / П.П. Екименко – Краснодар, 2010. – 24 с. (17.11.2010).

40. Емелин, А.В. Адаптированный энергоаудит системы электрообеспечения и электропотребления предприятий хранения зерна [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.В. Емелин – Краснодар, 2010. – 24 с. (20.05.2010)

41. Ермаков, В.В. Источник питания на основе трансформатора с вращающимся магнитным полем для сварочного оборудования ремонтных предприятий АПК [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. / В.В. Ермаков – Краснодар, 2008. - 17 с.
42. Заплетина, А.В. Исследование влияния режимных параметров СВЧ-поля на качественные показатели семян гречихи [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Л.В. Заплетина – Красноярск, 2012. – 17 с.
43. Зуев, Н.А. Сушка и предпосевная стимуляция семян осциллирующим электромагнитным полем в инфракрасном диапазоне частот: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Н.А. Зуев – М., 2013. – 16 с.
44. Ильченко, Я.А. Асинхронный генератор с улучшенными эксплуатационными характеристиками для электротехнологических установок при производстве прудовой рыбы [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Я.А. Ильченко – Краснодар, 2012. – 24 с. (21.11.12).
45. Костюков, А.Ф. Метод ультразвукового контроля параметров сельскохозяйственного волоконного сырья [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.Ф. Костюков – Барнаул, 2012 – 21 с.
46. Курзин, Н.Н. Электротехнологические методы и средства повышения эффективности искусственного осеменения коров и восстановления их молочной продуктивности [Текст]: автореф. дис. ... док. техн. наук. / Н.Н. Курзин – Краснодар, 2009. – 47 с.
47. Миронов, Е.Б. Исследование удельного энергопотребления индукционных водонагревателей и их совершенствование путём оребрения конструктивных элементов [Текст]: автор. дис. ... канд. техн. наук. / Е.Б. Миронов – М., 2013. – 20 с.
48. Недилько, И.В. селективный ультразвуковой контроль газового состава воздушной среды в животноводческих помещениях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / И.В. Недилько – Барнаул, 2011. – 23 с.
49. Никитенко, Г.В. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения: монография / Г.В. Никитенко, Е.В. Коноплев; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2008. - 152 с.
50. Никитенко, Г.В. Математическое моделирование физических процессов в аппаратах магнитной обработки воды: монография.- Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2003. – 124 с.
51. Никитенко, Г.В. Сборник оценочных средств для вступительных испытаний выпускников высшего профессионального образования по направлению магистратуры: учебное пособие / Г.В. Никитенко, В.Г. Жданов, Е.В. Коноплев; Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь: АГРУС, 2012. – 120 с.
52. Никитенко, Г.В. Электромагнитные технологии и технические средства для энергосистем тепловодоснабжения: монография. – Ставрополь: АГРУС, 2006. – 160 с.

53. Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Из-во «Лань», 2013. – 224 с.

54. Николаенко, С.А. Параметры системы стабилизированного электроозонирования ульев при лечении бактериозов пчёл [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / С.А. Николаенко – Краснодар, 2010. – 23 с. (20.05.2010).

55. Нормов, Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве [Текст]: автореф. дис....док. техн. наук. / Д.А. Нормов – Краснодар, 2009. – 36 с.

56. Овсянников, Н.С. Аккумуляторная резервная солнечная электростанция для летнего лагеря КРС [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Н.С. Овсянников – зерноград, 2012. – 19 с.

57. Олешко, А.С. Стабилизатор напряжения бесконтактных генераторов автономных систем электроснабжения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.С. Олешко – Краснодар, 2010. – 21 с.

58. Осинцев, Е.Г. Исследование процесса отделения целых и микро-травмированных семян зерновых культур в электрическом поле [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Е.Г. Осинцев – Челябинск, 2009. – 19 с.

59. Оськин, А.С. Технические средства повышения эксплуатационных показателей электроактиваторных установок для приготовления консерванта при силосовании кукурузы [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.С. Оськин – Краснодар, 2012. – 24 с. (23.05.2012).

60. Оськин, С.В. Автоматизированный электропривод [Текст]: уч. пособие / С.В. Оськин – Краснодар, 2013 – 328 с.: ил.

61. Оськин, С.В. Определение надежности электроприводов по статистическим данным об отказах [Текст] / С.В. Оськин, А.И. Вантдке, А.Ф. Кроневальд, А.С. Оськина // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. - 2008. - №7. - С. 26-27.

62. Оськин, С.В. Особенности электропривода вентиляционных установок в птичниках [Текст] / С.В. Оськин, В.И. Шипалов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. - 2008. - №6. - С. 21-23.

63. Оськин, С.В. Переходные процессы в аксиальном индукционном регуляторе [Текст] / С.В. Оськин, В.И. Шипалов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва.- 2008. - №11. - С. 34-35.

64. Оськин, С.В. Повышение надежности защиты электронасосных агрегатов от обрыва фаз [Текст] / С.В. Оськин, А.Ф. Кроневальд, В.А. Дидыч // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. - 2009. - №4. - С. 27-28.

65. Оськин, С.В. Повышение надежности электроприводов в сельском хозяйстве [Текст] / С.В. Оськин, И.А. Переверзев, А.Ф. Кроневальд // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. -2008. - №1 - С. 20.

66. Оськин, С.В. Повышение эффективности насосных агрегатов в системах мелиорации и орошения [Текст] / С.В. Оськин, В.А. Дидыч // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. - 2011. - №6. - С. 16-17.

67. Оськин, С.В. Эффективность применения преобразователей частоты в насосных установках [Текст] / С.В. Оськин. - Труды КубГАУ. – Вып. №1(40). - Краснодар, 2013. - С. 133-177.

68. Пантелеева, Л.А. Повышение эффективности работы асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Л.А. Пантелеева – Ижевск, 2012. – 20 с.

69. Пат. 2516255 Способ пуска асинхронного двигателя / Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Вронский О.В., Баракин Н.С. и др. // Заявка № 2012121219/07; Заявл. 23.05.2012; Опубл. 20.05.2014; Бюл. № 14. – 10 с.

70. Пат. 2354984, МПК G01R31/34 Станция испытания электрических машин [Текст] / Макаренко Н.Г., Головаш А.Н., Мишин А.И. (РФ). Патентообладатель: ОАО «РЖД». – № 2007138528; Заявл. 16.10.2007; Опубл. 10.05.2009; Бюл. № 13. – 9 с.: ил.

71. Пат. 2442995, МПК G01R31/34 Стенд с электромагнитным нагрузочным модулем для исследования и испытания электроприводов [Текст] / Некрасов А.И., Некрасов А.А., Сырых Н.Н. (РФ). Патентообладатель: (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии) – №2010102148/28; Заявл. 26.01.2010; Опубл. 20.02.2012; Бюл. № 5. – 8 с.: ил.

72. Пат. 2521788, МПК G01R 31/34 Стенд для исследования и испытания электроприводов [Текст] / Богатырев Н.И., Оськин С.В., Темников В.Н. и др. (РФ) заявитель и патентообладатель КубГАУ. - № 2012126279/28; Заявл. 22.06.2012; Опубл. 10.07.2014; Б ю л . № 19. – 22 с.

73. Самойленко, В.В. Технические средства снижения энергозатрат при реализации технологии переменного оптического облучения рассады овощных культур в теплицах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.В. Самойленко – зерноград, 2013. – 20 с.

74. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013615881 Расчет освещенности помещений [Текст] / С.В. Оськин, В.А. Дидыч, Я.А. Ильченко, С.М. Моргун, М.И.Потешин. (РФ) заявитель и патентообладатель КубГАУ. - № 2013613886; Заявл. 13.05.2013; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.06.2013.

75. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011620084. Физико-химические свойства меда и их влияние на основные приводные характеристики центрифуг для откачки меда [Текст] / С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, Д.С. Цокур, Н.Г. Хорошунов. (РФ) заявитель и патентообладатель КубГАУ. - №2010620237; Заявл. 28.05.10. Зарегистрировано в Реестре 28.01.2011.

76. Стандартные и многофункциональные асинхронные электрические машины. Учебное издание. / В.Н. Ванурин, Н.И. Богатырев, К.А.-А. Джанибеков, В.И. Пахомов. зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадеми - 2010 - 148 с.

77. Статорные обмотки с фазной зоной  $120^0$  асинхронных электрических машин: моногр. / В.Н. Ванурин, Н.И. Богатырев, К.А.-А. Джанибеков, К.Б. Пономаренко: – Краснодар, 2011. – 84 с.: ил.

78. Стенд для исследования и испытания электроприводов / Богатырев Н.И., Оськин С.В., Темников В.Н., Громько Д.В., Баракин Н.С., Ераносов А.Ю. // Заявка № 2012126279; Заявл. 22.06.2012; Оpubл. 27.12.2013; Б ю л . № 36. – 2 с.

79. Сулейманов, Р.А. Стабилизатор напряжения и частоты тока повышающий эксплуатационные характеристики ветроэлектрических установок агропромышленного комплекса [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Р.А. Сулейманов – Краснодар, 2013. – 18 с.

80. Харченко, Д.П. Многоскоростной электропривод вентилятора птичника с комбинированным коммутатором статорной обмотки для повышения эксплуатационной эффективности вентиляционных систем [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Д.П. Харченко – Краснодар, 2013. – 24 с.

81. Шипалов, В.И. Эксплуатационная эффективность электропривода вентиляторов в птичниках с индукционным регулятором напряжения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.И. Шипалов – Краснодар, 2009. – 24 с. (23.05. 2009).

82. Электрические аппараты низкого напряжения. Учебник для вузов. / Н.И. Богатырев, О.В. Григораш, А.В. Винников, В.Л. Лихачев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 538 с.